



LAPORAN TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISA EFEKTIFITAS POLYETHYLENE DAN POLYPROPYLENE SEBAGAI TOP COAT PADA METODE PELAPIS 3 LAYER COATING TERHADAP KETAHANAN KOROSI DARI BAJA API 5L GRADE B

YOSAFAT SONDANG MARCELLINUS SIAHAAN
NRP 2712 100 125

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc

Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]



FINAL PROJECT - TL141584

**EFFECTIVENESS ANALYSIS OF
POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE AS 3
LAYER COATING METHOD'S TOP COAT
COATED ON API 5L GRADE B AGAINST
CORROSION**

**YOSAFAT SONDANG MARCELLINUS SIAHAAN
NRP 2712 100 125**

**Advisor
Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc**

**Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

**ANALISA EFEKTIFITAS *POLYETHYLENE* DAN
POLYPROPYLENE SEBAGAI *TOP COAT* PADA METODE
PELAPIS 3 *LAYER COATING* TERHADAP KETAHANAN
KOROSI DARI BAJA API 5L GRADE B**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Material dan Metalurgi Pada
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YOSAFAT SONDANG MARCELLINUS SIAHAAN
NRP 2712 100 125

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng (Pembimbing I)

2. Budi Agung Kurniawan, ST, M.Eng (Pembimbing II)





**ANALISA EFEKTIFITAS *POLYETHYLENE* DAN
POLYPROPYLENE SEBAGAI *TOP COAT* PADA METODE
PELAPIS 3 LAYER COATING TERHADAP KETAHANAN
KOROSI DARI BAJA API 5L GRADE B**

Nama Mahasiswa : Yosafat Sondang Marcellinus S
NRP : 2712 100 125
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc

Sistem perpipaan memiliki peranan sangat penting di industri minyak dan gas. Sebagian besar jaringan pipa menggunakan baja sebagai material komponennya sehingga sangat rentan terdegradasi akibat peristiwa korosi yang disebabkan oleh lingkungannya. Salah satu metode untuk melindungi pipa dari korosi adalah dengan menggunakan metode *multi-layer coating* dengan *polyethylene* dan *polypropylene* sebagai *top coat*, dimana metode ini memiliki berbagai kelebihan dan mampu untuk menutupi keterbatasan dari metode *single-layer coating*. Berdasarkan pengujian uji sembur kabut garam, pelapis *epoxy*, *polyethylene*, dan *polypropylene* memiliki efektivitas terhadap ketahanan korosi yang baik dimana ketiga lapisan tersebut mendapat *rating* 9. Sedangkan pada pengujian *pull-off test*, lapisan epoksi memiliki rata-rata nilai adhesi paling besar, yaitu 4.67 Mpa, hal ini dikarenakan pada lapisan *polyethylene* dan *polypropylene* mengalami *cohesive* dan *glue failure* pada saat pengujian. Melalui pengamatan secara visual, *polypropylene* memiliki ikatan antar lapisan yang lebih baik, dikarenakan pada permukaan substratnya terdapat *mechanical interlocking* pada daerah *interface* yang meningkatkan kekuatan adhesinya.

Kata Kunci : Epoksi, *Polyethylene*, *Polypropylene*, Korosi, Adhesi, API 5L Grade B, Uji Sembur Kabut Garam



EFFECTIVENESS ANALYSIS OF POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE AS 3 LAYER COATING METHOD'S TOP COAT COATED ON API 5L GRADE B AGAINST CORROSION

Name : Yosafat Sondang Marcellinus S
NRP : 2712 100 125
Departement : Materials & Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc

Pipeline has a very important role in the oil and gas industry. Most of the pipelines used in this industry is steel as the material which particularly vulnerable to degraded due to the events of corrosion caused by the environment. One of the method to protect the pipe from the corrosion is by using a multi-layer coating with polyethylene and polypropylene as a top coat. This method has many advantages compared to single-layer and is able to cover the limitations of single-layer coating method. Based on data from salt spray fog test, epoxy, polyethylene, and polypropylene coatings have excellent effectiveness against corrosion with rating value 9. From the pull-off test result, epoxy coating has better average adhesion value rather than polyethylene and polypropylene coating with 4.67 Mpa. This result was obtained due to different failure category from the test, epoxy as adhesive failure, while polyethylene and polypropylene categorized as cohesive failure and glue failure. Through visual observation, polypropylene has excellent bonding to the second layer, because on the surface of the substate there is mechanical interlocking mechsansim at the interface area which increases adhesion strength

Keywords : Epoxy, Polyethylene, Polypropylene, Corrosion, Adhesion, API 5L Grade B, Salt Spray Test



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur patut penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan karunia yang telah diberikan oleh-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

ANALISA EFEKTIFITAS *POLYETHYLENE* DAN *POLYPROPYLENE* SEBAGAI *TOP COAT* PADA METODE PELAPIS 3 LAYER COATING TERHADAP KETAHANAN KOROSI DARI BAJA API 5L GRADE B

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan, dukungan serta dorongan dari berbagai pihak, tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dan berjalan dengan baik. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin berterimakasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan dan dorongan hingga tugas akhir ini dapat selesai. Dengan segala hormat dan kerendahan hati, perkenankanlah penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kekuatan, pencerahan serta kelancaran dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
2. Keluarga penulis yang telah memberikan motivasi dan dorongan serta doa sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan ST, M.Eng selaku dosen pembimbing pertama dan Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, ilmu dan juga wawasan kepada penulis.
4. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc selaku dosen pembimbing dua yang telah memberikan arahan dan masukan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
5. Teman-teman satu angkatan yang tidak pernah lelah memberikan dorongan serta rasa saling membantu dengan satu sama lain

6. Mas dan mbak alumni, atas pengalaman dan masukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Serta semua pihak yang ikut membantu baik secara langsung maupun secara tidak langsung.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membacanya. Selain itu, penulis juga menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat berkenan menerima kritik maupun saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Penulis,



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	v
Abstrak	vii
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xix

BAB I : PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat	5

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

2.1 <i>Pipeline</i>	7
2.1.1 Spesifikasi dan Standar Material <i>Pipeline</i>	8
2.1.2 Material Baja untuk Pengujian	10
2.2 Korosi	11
2.2.1 Korosi Pada <i>Pipeline</i> di Industri Migas	12
2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi	14
2.2.3 Pengujian Korosi dengan Metode Salt Spray Test	18
2.2.4 Metode Perlindungan Korosi	19
2.3 Proteksi <i>Coating</i> Pada Pipa Terhadap Korosi	21
2.3.1 Aplikasi <i>Coating</i> Pada Pipa Baja	21
2.3.2 Mekanisme Pengendalian Korosi dengan <i>Protective Coating</i>	22
2.4 Persiapan Permukaan	24
2.5 <i>Organic Coating</i>	28
2.5.1 Bahan-Bahan Penyusun <i>Organic Coating</i>	30
2.5.1.1 <i>Binder</i>	30
2.5.1.2 <i>Solven</i>	31
2.5.1.1 <i>Pigmen</i>	32



2.5.1.1 Aditif	33
2.5.2 <i>Material Coating</i>	34
2.5.2.1 Epoksi	34
2.5.2.2 Epoksi Sebagai <i>Material Coating</i>	36
2.5.2.3 <i>Adhesive (Bonding Agent)</i>	37
2.5.2.4 <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE)	38
2.5.2.5 <i>Polypropylene</i> (PP)	40
2.5.3 Kegagalan Pada <i>Organic Coating</i>	42
2.6 Penelitian Sebelumnya	45
BAB III : METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	49
3.2 Metode Penelitian	50
3.3 Alat Penelitian	51
3.4 Bahan Penelitian	55
3.5 Prosedur Penelitian	58
3.5.1 Preparasi Spesimen	58
3.5.1.1 Pemotongan Spesimen	58
3.5.1.2 Preparasi Permukaan	59
3.5.1.3 Pengecekan Kondisi Lingkungan	60
3.5.1.4 Aplikasi Pelapisan	60
3.5.2 Pengujian Sembur Kabut Garam	63
3.5.2.1 Metode <i>Scratch</i>	64
3.5.3 Pengujian Adhesi	66
3.5.4 Pengujian Ketahanan Panas	68
3.5.5 Analisa Morfologi dengan <i>Stereo Microscope</i> ...	68
BAB IV : ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengukuran Ketebalan Lapisan	71
4.2 Pengujian Adhesi	72
4.2.1 Pengaruh Preparasi Permukaan Terhadap Kekuatan Adhesi	77
4.2.2 Pengaruh Uji Ketahanan Panas Terhadap Kekuatan Adhesi	79
4.3 Pengujian Sembur Kabut Garam	81
4.3.1 Pengaruh Uji Sembur Kabut Garam Terhadap Kekuatan Adhesi	88



4.3.2 Pengaruh Uji Sembur Kabut Garam Terhadap

Blister Pada Permukaan Epoksi 89

4.4 Analisa Morfologi *3LPE & 3LPP Coating* 91

BAB V : KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan 95

5.2 Saran 96

DAFTAR PUSTAKA **xxi**

BIODATA PENULIS **xxv**

LAMPIRAN



[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]



DAFTAR TABEL

Table 2.1 <i>Yield Strength dan Mechanical Strength</i> Dari Berbagai Macam Baja API 5L	9
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja API 5 L <i>Grade B</i>	10
Tabel 2.3 Standar Persiapan Permukaan	26
Tabel 2.4 <i>Pictorial Example</i> dari Baja	27
Tabel 2.5 <i>Pictorial Example</i> dari Baja Setelah <i>Sand Blasting</i> ...	27
Tabel 2.6 Sifat Fisik dari Lapisan <i>Adhesive</i>	38
Tabel 2.7 Sifat Fisik dari Lapisan <i>Polyethylene</i>	39
Tabel 2.8 Sifat Fisik dari Lapisan <i>Polypropylene</i>	41
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja <i>API 5L Grade B</i>	58
Tabel 3.2 Komposisi Cat Epoksi (<i>Penguard Primer</i>)	58
Tabel 3.3 Komposisi Pelarut (<i>Thinner Jotun No.17</i>)	58
Tabel 3.4 Tingkat Korosi Uji Sembur Kabut Garam pada Metode <i>Scratch</i>	64
Tabel 3.5 Rancangan Rekap Data Pelebaran Goresan	65
Tabel 3.6 Rancangan Rekap Data Pengujian Kekuatan Adhesi.	67
Tabel 3.7 Rancangan Rekap Data Pengujian Ketahanan Panas.	68
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan	71
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Adhesi	72
Tabel 4.3 Data Hasil Kekuatan Adhesi Pada Sampel Uji Ketahanan Panas.....	80
Tabel 4.4 Tingkat Korosi Uji Sembur Kabut Garam pada Metode <i>Scratch</i>	82
Tabel 4.5 Data Pelebaran dan Rating Sampel Uji Sembur Kabut Garam	82
Tabel 4.6 Data Pengujian <i>Pull-Off Test</i> Pada Spesimen Uji Sembur Kabur Garam	88



[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baja API 5L Grade B Sch.40 2"	10
Gambar 2.2 Proses Terjadinya Korosi	14
Gambar 2.3 Korosi Diagram Pourbaix Fe Pada 25°C	15
Gambar 2.4 Pengaruh Kelarutan Oksigen Terhadap Laju Korosi.....	16
Gambar 2.5 Hubungan Konsentrasi Oksigen Terlarut Terhadap Temperatur.....	17
Gambar 2.6 Komposisi Penyusun <i>Coating</i>	28
Gambar 2.7 Ilustrasi Bentuk Pigmen Terhadap Laju <i>Moisture</i>	33
Gambar 2.8 Rantai Ikatan Kimia Dari Epoksi	37
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	49
Gambar 3.2 Neraca <i>Mettler Toledo</i>	52
Gambar 3.3 Alat <i>Sand Blasting</i>	52
Gambar 3.4 Alat <i>Spray Cat</i> Epoksi	53
Gambar 3.5 Alat <i>Flashlight Magnifier</i>	53
Gambar 3.6 <i>Roughness Meter Device</i>	53
Gambar 3.7 Alat ukur ketebalan lapisan	54
Gambar 3.8 Alat Pengujian Kekuatan Adhesi	54
Gambar 3.9 <i>Muffle Furnace</i>	55
Gambar 3.10 <i>Stereo Microscope</i>	55
Gambar 3.11 Pipa Baja API 5L Grade B Sebelum dan Setelah <i>Dirolling</i> dan Dipotong	56
Gambar 3.12 Cat Epoksi Komponen A dan B	56
Gambar 3.13 Resin dan Hardener <i>Araldite</i>	57
Gambar 3.14 <i>Pellet Polyethylene</i> dan <i>Pellet Polypropylene</i>	57
Gambar 3.15 Hasil Lapisan Epoksi Dengan Metode <i>Spray</i>	61
Gambar 3.16 Resin dan Hardener Lapisan Adhesive Dengan Rasio 1:1	61
Gambar 3.17 Hasil Lapisan <i>Top Coat</i>	62
Gambar 3.18 Visualisasi antar Lapisan	62
Gambar 4.1 Visualisasi Hasil <i>Pengujian Pull-Off Test</i> pada Lapisan Epoksi	73



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian <i>Pull-Off Test</i> dari Pelapis Epoksi	74
Gambar 4.3 Visualisasi <i>Failure</i> dari Hasil Pengujian <i>Pull-Off Test</i>	76
Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian <i>Pull-Off Test</i> dari Pelapis <i>Polyethylene</i> dan <i>Polypropylene</i>	77
Gambar 4.5 Visualisasi Hasil Preparasi Permukaan	78
Gambar 4.6 <i>Mechanical Interlocking</i> antara Substrat dengan Epoksi	79
Gambar 4.7 Permukaan Sampel Setelah Pengujian Sembur Kabut Garam Selama 96 jam	84
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Ketebalan Pelapis terhadap Pelebaran Goresan	88
Gambar 4.9 <i>Blistering</i> yang Terjadi Pada Permukaan Epoksi..	90
Gambar 4.10 Morfologi Pelapis <i>3 Layer Polyethylene</i> and <i>Propylene Coating</i>	92
Gambar 4.11 Permukaan <i>Polyethylene</i> dan <i>Polypropylene coating</i>	93



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Didalam dunia industri khususnya industri minyak dan gas, baja merupakan suatu material yang banyak diaplikasikan. Faktor yang membuat baja umum untuk diaplikasikan adalah dikarenakan baja memiliki sifat mekanik yang baik, fabrikasi yang mudah dan dengan harga yang relatif rendah. Namun sama halnya dengan material lain, baja dapat mengalami suatu penurunan kualitas (*deterioration*). Salah satu faktor penyebab menurunnya kualitas dari baja adalah adanya peristiwa korosi, dimana korosi merupakan suatu proses degradasi dari material yang diakibatkan dari adanya reaksi kimia pada permukaan logam dengan komponen agresif dari lingkungan dimana baja tersebut berada. (Kaesche, 2003)

Dalam satu setengah abad belakangan ini di dunia industri minyak dan gas, praktek jaringan perpipaan merupakan suatu solusi dan cara yang paling ekonomis sebagai sarana transportasi minyak mentah, gas alam, dan produk lainnya dalam skala yang besar. Jika dibandingkan dengan solusi lainnya, jaringan perpipaan memiliki lebih banyak kelebihan, seperti; dapat memindahkan fluida atau produk dalam kuantitas yang lebih besar dan secara terus menerus, memiliki tingkat resiko yang lebih rendah, serta memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan berbagai macam kondisi lingkungan (Boyun Guo, 2004). Oleh karena itu jaringan perpipaan dalam suatu industri minyak dan gas memiliki peranan yang sangat penting.

Sebagian besar jaringan pipa menggunakan baja sebagai material komponennya, dan akan mengangkut serta memindahkan produk minyak dan gas dalam jarak yang relatif jauh. Pada umumnya struktur jaringan pipa sebagai penopang proses eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi dapat berlokasi didarat (tanah) maupun didaerah laut (*marine*). Namun tingkat korosifitas tanah yang bervariasi dari suatu geografis yang



berbeda, serta tingkat korosifitas lingkungan laut yang tinggi membuat permasalahan korosi menjadi kompleks. Tanah memiliki jangkauan komposisi yang luas dan merupakan lingkungan yang sangat rentan terjadi korosi. Komponen variabel yang seringkali ditemukan didalam tanah adalah kelembaban, oksigen atau kondisi aerasi, kandungan garam, alkalinitas dan tingkat keasaman, serta kemungkinan adanya berbagai bentuk bakteri. Sedangkan kondisi lingkungan laut yang memiliki kandungan garam sangat tinggi akan menyebabkan lingkungan tersebut sangatlah korosif. Dalam hal ini baja karbon merupakan komponen material yang paling ekonomis untuk struktur pipa, dibandingkan dengan material lainnya. (Callister, 2009)

Untuk mencegah terjadinya korosi terutama dibagian eksternal pada pipa, diperlukannya suatu metode untuk memproteksi baja dari lingkungannya. Salah satunya adalah dengan aplikasi *coating* dengan pelapis organik. *Organic coatings* merupakan suatu bentuk perlindungan dari korosi yang terletak diantara permukaan baja dengan lingkungan yang korosif. Pelapis tersebut akan menjaga daya tahan dari struktur baja dan akan memberikan ketahanan terhadap kelembaban, abrasi, reaksi kimia serta meningkatkan ketangguhan. Efisiensi dari *organic coatings* dipengaruhi oleh sifat mekanik dari sistem pelapisannya, perlakuan dan persiapan dari permukaan, serta daya ikatan antara material *coating* dengan permukaan logam (*adhesion*). Pelapis organik biasanya terdiri dari *solvent*, *resin (binder)*, *pigment*, *filler*, dan *additives*. Pada saat pelapis tersebut diaplikasikan pada baja, pelapis tersebut akan menghasilkan suatu lapisan yang homogen dan secara signifikan akan menurunkan resiko dari baja untuk retak ataupun patah pada saat menerima beban. Pelapis organik sebagai lapisan pelindung harus memiliki permeabilitas yang rendah, stabilitas terhadap korosi yang baik, serta daya tahan dalam periode waktu yang cukup lama. (Popov, 2015)

Terdapat beberapa jenis metode aplikasi *organic coatings*, diantaranya adalah *single-layer coating* dan *multi-layer coating*. Pelapis dengan lapisan tunggal digunakan untuk melindungi pipa



dari korosi pada kondisi yang statis, dan pada kondisi lingkungan yang stabil seperti didalam tanah yang mengandung tanah liat (*clay*) atau pasir. Pelapis dengan tambahan lapisan diatasnya digunakan untuk memberikan perlindungan tambahan pada pipa agar dapat stabil dalam lingkungan yang memiliki tingkat korosifitas yang tinggi, kondisi tanah yang berkapur atau berbatu, dan juga berfungsi untuk memberikan isolasi. Isolasi berfungsi untuk menjaga agar temperatur fluida di dalam pipa lebih tinggi daripada temperatur di lingkungannya. *Single-layer coating* tentunya memiliki keterbatasan dan tidak dapat menyediakan semua sifat yang dibutuhkan oleh pipa dalam berbagai kondisi operasi. Oleh karena itu penambahan lapisan dengan metode *multi-layer coating* diperlukan untuk menutupi keterbatasan dari metode *Single-layer coating*. *Multi-layer coating* yang umum digunakan di dalam industri minyak dan gas adalah *three-layer polyethylene coating* (3LPE) dan *three-layer polypropylene coating* (3LPP), dimana terdiri dari 3 jenis lapisan yang berbeda. Lapisan pertama berupa *epoxy* sebagai lapisan *primer*, lapisan kedua berupa *adhesive* sebagai lapisan perantara, dan lapisan ketiga berupa *polyethylene* atau *polypropylene* sebagai *top coat*. (Boyun Guo, 2004)

Dalam industri minyak dan gas, aplikasi *coating* dengan metode yang lebih kompleks seperti *multi-layer coating* tentunya membutuhkan biaya yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode *single-layer coating*, walaupun masih relatif lebih murah jika dibandingkan dengan *inorganic coating*. Tentunya *multi-layer coating* memiliki kelebihan dan dapat menutupi keterbatasan yang dimiliki *single-layer coating*. Namun apakah bahan *polyethylene* atau *polypropylene* sebagai *top coat* cukup efektif terutama dalam hal perlindungan dari korosi? Untuk menjawab pertanyaan tersebut penelitian ini dilakukan untuk menganalisa efektifitas *polyethylene* dan *polypropylene* sebagai *top coat* pada metode *three-layer coating* terhadap ketahanan korosi pada pipa baja API 5L Grade B.



1.2. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan apa yang telah diuraikan pada latar belakang diatas, rumusan permasalahan yang akan dibahas dan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana efektifitas *polyethylene* dan *polypropylene* sebagai *top coat* dari metode *three-layer coating* terhadap ketahanan korosi pada pipa baja API 5L Grade B?
2. Bagaimana pengaruh ketebalan lapisan terhadap kekuatan adhesi dan ketahanan korosi dari pelapis *three-layer polyethylene / polypropylene (3LPE / 3LPP) coating*?
3. Bagaimana kondisi morfologi dari pelapis *three-layer polyethylene / polypropylene (3LPE / 3LPP) coating*?

1.3 BATASAN MASALAH

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian agar penelitian ini menjadi terarah, maka ditetapkan batasan-batasan permasalahan sebagai berikut :

1. Material yang digunakan sebagai substrat adalah API 5L Grade B dan dianggap homogen serta bebas cacat.
2. Material pelapis dianggap tercampur merata.
3. Hasil proses pelapisan pada lapis kedua dan ketiga dari *three-layer polyethylene / polypropylene (3LPE / 3LPP) coating* dianggap homogen.
4. Ketebalan *polyethylene* dan *polypropylene* sebagai *top coat* dianggap sama.
5. Evaluasi biaya dari bahan pelapis tidak dilakukan

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :



1. Menganalisa efektivitas pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* sebagai *top coat* dari metode *three-layer coating* terhadap ketahanan korosi pada pipa baja API 5L Grade B.
2. Menganalisa pengaruh ketebalan lapisan terhadap kekuatan adhesi dan ketahanan korosi dari pelapis *three-layer polyethylene / polypropylene (3LPE / 3LPP) coating*.
3. Menganalisa kondisi serta morfologi pelapis *three-layer polyethylene / polypropylene (3LPE / 3LPP) coating*.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Kedepannya hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi dalam pengendalian korosi serta dapat memberikan gambaran terkait efektivitas dari salah satu aplikasi metode pelapis dengan menggunakan *organic coating* di dalam industri minyak dan gas. Selain itu diharapkan melalui penelitian ini dapat memberikan manfaat dan dapat menjadi acuan terhadap penelitian-penelitian selanjutnya.



[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Pipeline*

Jaringan pipa (*pipeline*) pada umumnya digunakan sebagai alat transportasi fluida (*liquid* atau gas), *mixed of liquid* solid dan *fluid-solid mixture*. Segmen jaringan perpipaan yang panjang biasanya terhubung dengan berbagai instrumen-instrumen seperti pompa, katup, *control system* dan berbagai peralatan lain selama beroperasi. Beberapa negara maju menggunakan *pipeline* sebagai salah satu sarana untuk menunjang transportasi terhadap berbagai macam keperluan pengangkutan seperti menyalurkan air dari *treatment plant* menuju perumahan ataupun berbagai bangunan lainnya, ataupun menyalurkan produk hasil industri minyak dan gas (*crude oil* dan *natural gas*) dari satu daerah ke daerah lainnya yang memiliki jarak bahkan bisa mencapai ribuan mil. (Liu,2005)

Jaringan perpipaan adalah salah satu sarana transportasi fluida yang cukup aman, ekonomis serta dapat diandalkan. Namun disamping itu untuk membangun suatu jaringan perpipaan, apalagi dengan jarak yang cukup jauh, membutuhkan biaya investasi yang tinggi. Pada suatu kondisi dan keadaan tertentu, konten fluida yang diangkut di dalam *pipeline* juga berpengaruh terhadap resiko kegagalannya. Hal ini merupakan salah satu hal yang menjadi perhatian terutama di industri minyak dan gas dimana konten fluida yang diangkut berupa *crude oil* atau *hydrocarbon* yang memiliki berbagai tingkat resiko yang tinggi.

Pipeline adalah salah satu komponen yang sangat penting di industri eksplorasi minyak dan gas. Penyaluran fluida berupa *crude oil* ataupun gas alam dengan menggunakan *pipeline* harus memiliki sifat yang *continous* dan *reliable operation*. Selain itu penggunaan *pipeline* yang sudah umum dan cukup luas, telah membuktikan bahwa *pipeline* mampu beradaptasi dengan berbagai variasi jenis lingkungan termasuk daerah-daerah yang dapat dikategorikan sebagai daerah yang terpencil dengan



lingkungan yang kurang atau tidak bersahabat, seperti halnya air laut (*offshore*). Dikarenakan peranannya yang cukup besar dan penting dalam industri minyak dan gas, *pipeline* harus selalu dalam kondisi *fit in service* atau mampu beroperasi optimal dan aman tanpa adanya permasalahan. Banyak faktor yang mempengaruhi daya tahan atau ketahanan dari *pipeline*, seperti desain material *pipeline*, sistem penyambungan material *pipeline* hingga proses perlindungan atau proteksi dan *pipeline maintenance*. (Boyun Guo, 2005)

2.1.1 Spesifikasi dan Standar Material Pipeline

Variasi pipa yang digunakan untuk *pipeline* pada industri minyak dan gas antara lain baja karbon, *stainless steel* dan *incoloy*. Beberapa spesifikasi dan standar material untuk pipa sudah ditentukan oleh beberapa badan standar internasional seperti *American Society for Testing Materials* (ASTM) dan *American Petroleum Institute* (API). Kedua lembaga tersebut berperan sebagai penyedia standar spesifikasi material tertentu. Meskipun ASTM dan API merupakan lembaga yang mengeluarkan dan menyediakan suatu standar, cakupan API hanya mengeluarkan standar yang terbatas hanya dibidang perminyakan. API adalah sebuah asosiasi *trade*, sehingga lembaga tersebut juga menyediakan produk dan melakukan pengembangan terhadap produk-produk mereka yang dijual ke pasar. ASTM hanya berperan sebagai penyedia standar material serta metode pengujian untuk aplikasi bidang industri secara luas. Selain itu terdapat juga lembaga *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), yang berperan sebagai asosiasi yang menentukan standar dari desain dan konstruksi dari sistem perpipaan.

Pemilihan material dengan menggunakan logam sudah mulai diterapkan secara umum sejak tahun 1950-an berdasarkan standar API (*American Petroleum Institute*) dengan kode 5L mengenai acuan pemilihan material pipa. Pada akhir tahun 1980-an berdasarkan standar API terdapat beberapa macam tipe



material pipa, yaitu A25, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X64, X70 dan X80. Setiap tipe material mempunyai karakteristik zat dan material penyusun yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Spesifikasi baja yang digunakan tergantung pada komposisi kimia, kekuatan material, dan toleransi pipa dalam industri dan manufaktur. Berdasarkan pembuatannya terdapat beberapa jenis pipa yaitu:

- *Seamless (S)*
- *High-frequency welded pipes (HFW)*
- *Submerged-arc welded longitudinal seam (SAWL)*
- *Submerged-arc welded helical seam (SAWH) atau spiral welded*

Table 2.1 *Yield Strength dan Mechanical Strength Berbagai Macam Baja API 5L*

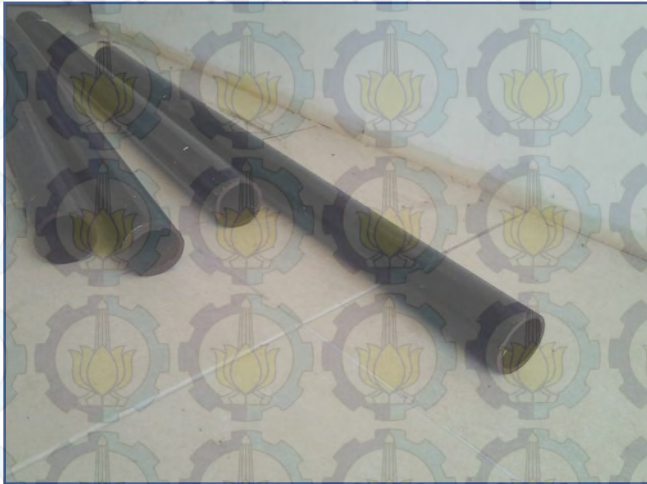
<i>Grade</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Mechanica Strength (MPa)</i>
A25	172	310
A	207	331
B	241	414
X42	290	414
X46	317	434
X52	359	455
X56	386	490
X60	414	517
X65	448	531
X70	483	565

(Sumber: API 5L - Specification for Line Pipe)



2.1.2 Material Baja untuk Pengujian

Dalam penelitian ini, material baja yang digunakan adalah baja karbon rendah, API 5 L *grade B Sch 40* dengan spesifikasi komposisi kimia seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.



Gambar 2.1 Baja Api 5L Grade B Sch 40 2"

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Baja API 5 L *Grade B*

Elemen	Kadar (%)
<i>Carbon</i>	0,22
<i>Mangan</i>	1,2
<i>Phospor</i>	0,025
<i>Sulfur</i>	0,015
<i>Titanium</i>	0,04

(Sumber: API 5L - Specification for Line Pipe)

Pipa API 5 L banyak digunakan dalam industri minyak dan gas baik *onshore* maupun *offshore*. Maksud dari API 5 L *Grade B* adalah:

❖ API : *American Petroleum Institute*



- ❖ 5 : Seri yang digunakan untuk *Tubular Goods* (ex: *Casing, Tubing, Pipeline*)
- ❖ L : Line Pipe
- ❖ B : Grade yang berhubungan dengan sifat mekanik material dan komposisi kimianya

2.2 Korosi

Korosi merupakan proses penurunan kemampuan suatu material (degradasi material) yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lain dan lingkungan (Jones, 2002). Korosi yang terjadi berdasarkan proses elektrokimia (*electrochemical process*) terdiri dari 4 komponen utama yaitu:

a. *Anode* (Anoda)

Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Reaksi pada anoda dapat dituliskan dengan persamaan :



Dengan z adalah valensi logam dan umumnya $z = 1, 2$, atau 3

b. *Catode* (Katoda)

Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Reaksi yang terjadi pada katoda berupa reaksi reduksi. Reaksi pada katoda tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti :

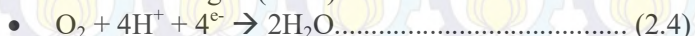
- Evolusi hidrogen (asam) :



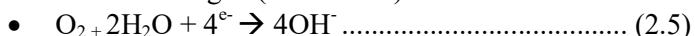
- Reduksi air (netral/basa) :



- Reduksi oksigen (asam) :



- Reduksi oksigen (netral/basa) :





- Reduksi ion logam :
- $M^{3+} + e^- \rightarrow M^{2+}$ (2.6)

c. Elektrolit

Elektrolit adalah larutan yang mempunyai sifat menghantarkan listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, basa, dan larutan garam. Larutan elektrolit mempunyai peranan penting dalam korosi logam karena larutan ini dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda

d. Kontak Metalik (*Metalic Pathway*)

Antara anoda dan katoda harus ada hubungan listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.

Keempat elemen diatas sangat berperan penting dalam peristiwa korosi. Mekanisme korosi yang terjadi pada baja yang berada didalam suatu larutan, berawal dari teroksidasinya suatu logam. Logam yang teroksidasi akan melepaskan elektronnya ke elektrolit, untuk menyeimbangkan muatan pada logam itu sendiri, logam akan melepaskan ion yang bermuatan positif yang akan berikatan dengan ion bermuatan negatif dari elektrolit sehingga membentuk suatu endapan yang melekat pada permukaan logam itu sendiri yang kemudian disebut dengan karat. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 akibat ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Reaksi yang terjadi di permukaan logam ini akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam kedalam larutan secara berulang-ulang hingga akhirnya logam akan kehilangan massanya.

2.2.1 Korosi pada Pipa Pipeline di Industri Minyak dan Gas

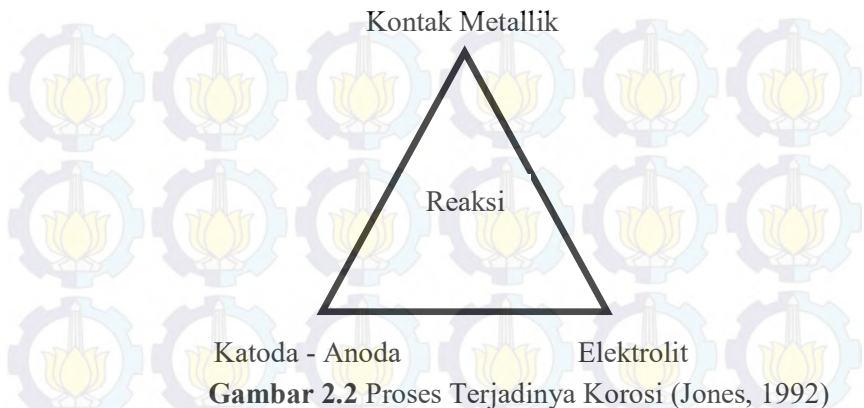
Penggunaan material pipa pada *pipeline* di lapangan minyak bumi dan gas alam didominasi oleh pipa baja karbon. Pipa baja karbon memiliki banyak kelebihan, diantaranya adalah



harga yang ekonomis, mudah diaplikasikan dilapangan dan sifat mekaniknya yang dapat diandalkan dalam berbagai bentuk kondisi operasi. Adapun pengoperasian pipa pada *pipeline* di lapangan minyak dan gas membutuhkan proteksi pada permukaan eksternal pipa, dikarenakan pipa pada *pipeline* kerap kali terekspos oleh lingkungan dan cenderung berinteraksi dengan lingkungan. Pada akhirnya akan timbul peristiwa korosi pada *pipeline*. (Rafferty, 1989)

Korosi merupakan penyebab utama dalam setiap analisa kegagalan pada pipa *pipeline*. Korosi yang terjadi pada *pipeline* di lapangan minyak dan gas antara lain adalah korosi atmosferik untuk pipa yang berada diatas tanah, korosi tanah pada pipa yang berada atau tertanam di dalam tanah (*buried pipe*), dan korosi pada lingkungan laut (*marine*) (Haris, dkk. 2006)

Korosi atmosferik merupakan korosi yang terjadi akibat pipa berinteraksi dengan lingkungannya, contohnya adalah elevasi temperatur, kecepatan angin, dan kelembaban. Korosi atmosferik ini akan menyebabkan terjadinya oksidasi pada pipa yang terekspos pada lingkungan atmosfer. Korosi tanah terjadi pada material yang berada di dalam tanah (*buried*). Tanah merupakan media elektrolit yang menyebabkan pipa mudah terjadi korosi. Tanah dapat bersifat korosif karena pada umumnya tanah mengandung beberapa material seperti air dan mineral lainnya yang dapat menginisiasi terjadinya peristiwa korosi. Selain itu terdapatnya faktor seperti mikroorganisme di dalam tanah, juga dapat meningkatkan risikonya untuk mengalami korosi (*microbiological induced corrosion*). Tidak hanya itu adapun kelembaban serta keberadaan oksigen dalam tanah juga menjadi faktor terjadinya korosi pada pipa dengan material baja karbon. Selain itu korosi pada lingkungan laut, memiliki tingkat korosifitas yang paling tinggi jika dibandingkan dengan lingkungan lainnya. Hal ini dikarenakan pada kondisi lingkungan laut, banyak sekali terkandung garam yang berperan sebagai elektrolit. (Muhlbauer, 2004)



Gambar 2.2 Proses Terjadinya Korosi (Jones, 1992)

2.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Korosi terjadi dipengaruhi oleh sifat dari kedua logam atau paduan dan lingkungannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi antara lain:

- A. Temperatur
- B. Faktor Ph
- C. Gas terlarut
- D. Kecepatan fluida

A. Temperatur

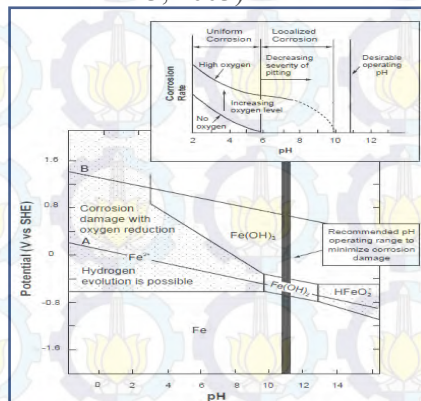
Temperatur mempunyai pengaruh yang sangat bervariasi terhadap korosi. Pada temperatur kamar laju korosi relatif rendah namun dapat meningkatkan kondensasi lapisan film pada permukaan yang berakibat meningkatkan terjadinya korosi. Dan peningkatan temperatur dapat menurunkan laju korosi dengan terjadinya proses pengeringan pada permukaan. Namun adanya kombinasi antara nilai kelembaban dan temperatur tinggi serta diikuti oleh adanya polutan, maka akan meningkatkan laju korosi. Pada lingkungan berair (*aqueous*), temperatur mempengaruhi laju korosi, temperatur permukaan, *heat flux*, dan konsentrasi permukaan yang terkait serta gradien transfer kimia.



B. Faktor pH

Pada Diagram Pourbaix yang mempengaruhi proses korosi baja adalah potensial (volt) dan pH (tingkat keasaman). Semakin rendah pH ($\text{pH} < 4$) maka kemungkinan baja untuk terkorosi semakin besar karena baja terurai menjadi ion saat berada di lingkungan asam. Sedangkan pada daerah pH 4-10, laju korosi tidak tergantung dari pH, namun bergantung pada kecepatan difusi oksigen ke permukaan logam. Pada daerah asam ($\text{pH} < 4$), deposit besi oksida terlarut, pH akan menurun ketika baja kontak langsung dengan larutan. Sedangkan apabila pH di atas 10, laju korosi akan berkurang karena baja membentuk lapisan pasif di permukaannya (ASM Handbook Volume 13, 2003).

Pada $\text{pH} < 4$ laju korosi meningkat dengan adanya konsentrasi ion hidrogen dan terjadi penurunan pH. Tetapi, mekanisme korosinya tidak hanya tergantung pada konsentrasi ion hidrogen, tetapi juga kehadiran ion-ion lain yang ada dalam larutan. Peningkatan laju korosi akan terjadi pada pH yang sangat rendah, laju korosi tidak tergantung pH pada range pH netral, laju korosi akan menurun dengan peningkatan pH, dan akhirnya laju korosi akan meningkat kembali pada pH yang sangat rendah (ASM Handbook Volume 13, 2003).

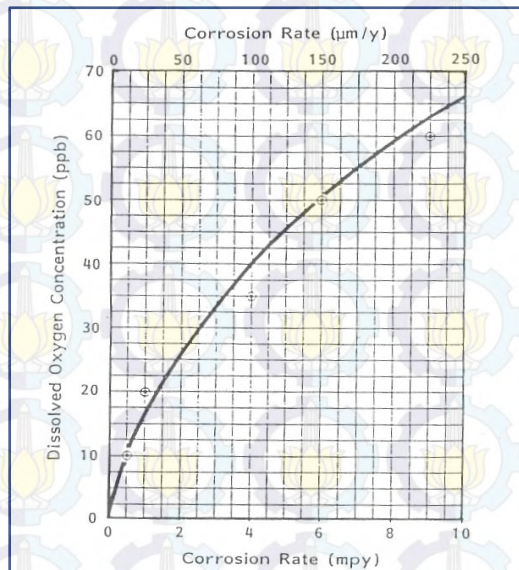


Gambar 2.3 Korosi Diagram Porbaix Fe pada 25°C (Pierre,2000)

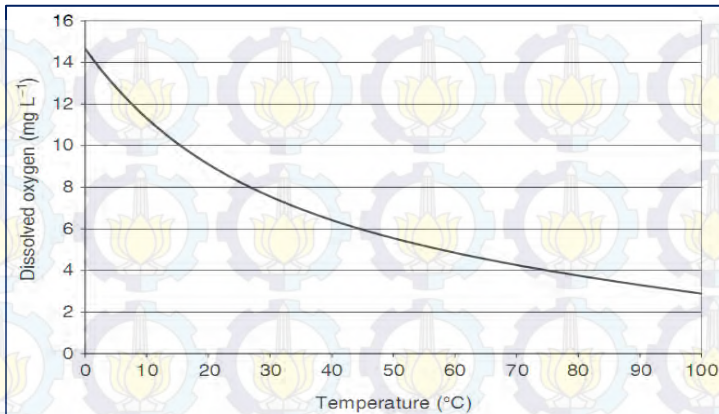


C. Gas Terlarut

Oksigen merupakan oksidator kuat sehingga akan meningkatkan potensial korosi logam di lingkungan air (fluida) yang mengandung oksigen terlarut. Laju korosi dapat meningkat dengan kenaikan kelarutan oksigen seperti terlihat pada Gambar 2.4. Kelarutan oksigen sendiri dipengaruhi oleh temperatur dari air atau pelarut. Semakin tinggi temperatur air atau pelarut, maka makin rendah kelarutan oksigen. Selain itu, pada air yang mengandung garam, kandungan oksigen terlarut juga dipengaruhi oleh kadar garam-garam yang terlarut (Jones, 1992). Pada air yang mengandung garam NaCl misalnya, kadar oksigen terlarut paling tinggi terdapat pada kadar NaCl 3,5%. Oleh karena itulah, air laut bersifat sangat korosif, dikarenakan kombinasi dari tingginya kadar oksigen terlarut dengan garam NaCl.



Gambar 2.4 Pengaruh Kelarutan Oksigen Terhadap Laju Korosi (Jones, 1992)



Gambar 2.5 Hubungan Konsentrasi Oksigen Terlarut Terhadap Temperatur (Jones, 1992)

Sedangkan untuk Karbondioksida (CO_2), terlarutnya karbondioksida di dalam air akan membentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air. Menurunnya kadar pH dalam air akan meningkatkan tingkat korosivitasnya.

4. Kecepatan Aliran Fluida

Kecepatan aliran fluida dapat mempengaruhi tingkat korosi dengan interaksinya terhadap lapisan protektif yang umum terdapat pada logam. Kecepatan tertentu akan meningkatkan laju korosi dengan menyingkap lapisan oksida pelindung ataupun pasif dari permukaan logam atau pipa terhadap lingkungan. Pada kecepatan lain, aliran dapat menurunkan laju korosi dengan menyingkirkan ion-ion agresif dari permukaan logam. Tiap logam umumnya memiliki batas kecepatan yang akan menyebabkan korosi yang disebut *breakaway velocity*. Di bawah kecepatan aliran ini, laju korosi tidak akan terpengaruh, sedangkan di atas kecepatan ini, laju korosi akan meningkat cukup banyak. Sentuhan lapisan pasif atau pelindung dengan aliran yang cukup



cepat akan menghancurkan lapisan tersebut, yang berakibat meningkatkan laju korosi. Sebagai contoh, pipa baja karbon yang mengalirkan air, umumnya terlindungi oleh lapisan tipis karat yang menghambat laju transfer massa dari oksigen terlarut ke dinding pipa (Roberge, 2000).

2.2.3 Pengujian Ketahanan Korosi dengan Metode *Salt Spray Test*

Pada penelitian ini metoda pengujian untuk mengetahui ketahanan korosi pada spesimen uji adalah dengan menggunakan metode goresan pada permukaan pelapis, dimana pelebaran sebelum dan setelah dilakukan pengujian uji sembur kabut garam (*salt spray test*) di hitung dan dibandingkan sesuai dengan standar.

Metode yang paling umum untuk mengetahui ketahanan suatu pelapis (*coating*) terhadap lingkungan yang korosif adalah menggunakan uji sembur kabut garam (*Salt Spray or Fog Test*). Pengujian ini dianggap merupakan salah satu pengujian yang paling baik untuk mengukur ketahanan korosi dari berbagai macam jenis bahan pelapis.

Pengujian ini menyediakan suatu lingkungan korosif yang terkontrol, dimana dapat direpresentasikan sebagai kondisi atmosfer dari lingkungan *marine* yang dipercepat atau disebut juga *accelerated marine-type atmospheric conditions*. Penyetelan peralatan, kondisi, dan prosedur operasional dari pengujian ini dijelaskan secara rinci didalam standar ASTM B117-03, "*Standard Practice for Operating Salt*". Pengujian sembur kabut garam pada umumnya dijalankan dengan mempersiapkan *test panels* (*salt spray chamber*) dalam suatu keadaan ataupun kondisi tertentu yang telah terkontrol. Dalam hal ini tentunya termasuk persiapan permukaan, ketebalan lapisan *film*, serta temperatur. *Test Panel* yang pada penampangnya diatur dengan derajat kemiringan tertentu nantinya akan terpapar kabut air garam (NaCl) dengan konsentrasi 3,5%. Panel dan spesimen uji nantinya akan diperiksa secara berkala, pada umumnya berkisar antara 24, 48, 96, 168, 336, 500, dan 1000 jam, Kemudian



dievaluasi untuk mengetahui tingkat ketahanan korosinya. Untuk mengetahui tingkat ketahanan korosi dari berbagai macam bahan pelapis, berbagai metode dapat digunakan, diantaranya adalah dengan mengetahui pelebaran dari sampel yang telah diberi perlakuan goresan terlebih dahulu. (McKeen, 2015)

2.2.4 Metode Perlindungan Korosi

A. Proteksi Katodik

Pemberian arus searah (DC) dari sumber eksternal. Arus DC akan memberikan elektron untuk mencegah ionisasi logam menjadi elektron bebas yang menyebabkan logam tersebut mudah bereaksi (Roberge, 2000). Metode-metode proteksi katodik, antara lain adalah:

❖ Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Prinsip yang digunakan dalam metode ini adalah sistem galvanik, dimana logam yang akan dilindungi dihubungkan secara elektrik dengan logam yang bersifat lebih anodik (potensial standarnya lebih kecil) dan sesuai dengan deret galvanik. Dengan demikian logam yang akan dilindungi bersifat sebagai katoda dan logam lainnya akan menjadi anoda. Akibatnya, anoda korban akan terus-menerus terkorosi sehingga harus diganti secara berkala.

❖ Arus Paksa (*Impressed Current*)

Metode arus paksa diaplikasikan dengan memberikan arus listrik searah dari sumber luar untuk melindungi struktur logam. Proses ini menggunakan penyearah yang disebut *rectifier*, dimana kutub negatif dihubungkan ke logam yang akan dilindungi, dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Pada prinsipnya, metode ini dilakukan dengan memberikan suplai elektron kepada struktur yang akan diproteksi secara katodik agar tidak terjadi kebocoran elektron. Anoda yang digunakan biasanya adalah anoda *inert* yang stabil agar tidak mudah terkontaminasi oleh lingkungan.



B. Proteksi Anodik

Metode ini dikembangkan menggunakan prinsip kinetika dari elektroda. Secara sederhana, proteksi anodik bekerja berdasarkan susunan lapisan pelindung pada logam yang dihasilkan dari arus anodik yang dialirkan dari luar. Proteksi anodik mempunyai kelebihan yang unik, contohnya adalah arus yang dialirkan biasanya sebanding dengan laju korosi dari sistem yang dilindungi. Sehingga proteksi anodik tidak hanya melindungi tapi juga memberikan nilai langung laju korosi untuk monitoring sistem. Proteksi anodik biasa digunakan untuk melindungi peralatan yang digunakan untuk menyimpan dan menangani asam sulfat (H_2SO_4).

C. Lapisan Pelindung (*Coating*)

Coating merupakan proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinyu pada logam yang akan dilindungi, tentunya setelah melalui proses solidifikasi. Proses pelapisan ini akan mengurangi intensitas logam untuk mengalami kontak dengan lingkungannya. Pelapisan yang paling umum digunakan adalah pelapisan menggunakan cat (Roberge, 2000). *Coating* dapat dibedakan berdasarkan bahan pelindungnya seperti polimer (organik dan inorganik), keramik, dan metal. Serta cara aplikasinya seperti *electroplating*, *cladding*, *hotdip coating*, *liquid coating*, *conventional spray* ataupun *thermal spray*.

D. Pemilihan Material (*Material Selection*)

Prinsip dasar metode pemilihan material adalah memilih material sesuai dengan kondisi lingkungan dimana material tersebut digunakan. Metode ini berhubungan dengan potensial galvanik dari logam yang digunakan.



E. Inhibitor

Inhibitor adalah zat yang ditambahkan dalam jumlah yang relatif kecil, berkisar 10-80 ppm ke dalam lingkungan korosif sehingga mengubah mekanisme reaksi lingkungan dan menurunkan laju korosinya. Inhibitor memiliki mekanisme kerja secara umum yaitu (Roberge, 2000)

- ❖ Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor.
- ❖ Inhibitor mengendap pada lingkungan dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi.
- ❖ Inhibitor lebih dahulu mengkorosi logam logamnya dan menghasilkan suatu zat kimia dan mengalami adsorpsi dari produk korosi untuk membentuk lapisan pasif pada permukaan.
- ❖ Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungan.

2.3 Proteksi *Coating* pada Pipa Terhadap Korosi

2.3.1 Aplikasi *Coating* Pada Pipa Baja

Penggunaan *coating* pada pipa *pipeline* merupakan opsi perlindungan permukaan pipa yang paling banyak dipilih karena kemudahannya dalam proses aplikasi di lapangan. Adapun jenis *coating* yang sering digunakan dalam *pipeline* berupa *organic coating*. Contoh *organic coating* adalah *coating (paint)* yang memiliki *binder* atau resin alkid, *epoxy ester*, dan vinil. Dalam aplikasi *coating* pipa pada *pipeline* lapangan minyak bumi dan gas alam, *organic coating* yang paling sering digunakan adalah cat organik berbasis *epoxy*, *Fusion-Bonded Epoxy* (FBE), dan *wrapping tape polyethylene*. FBE dan *wrapping tape polyethylene* biasanya digunakan untuk pipa bawah tanah, sedangkan cat organik berbasis *epoxy* untuk pipa *pipeline above the ground* (ASM Metal Handbook Vol.13, 2004).



Pada aplikasinya *protective coating pada pipeline* merupakan pelindung atau *shield* untuk pipa dari berbagai jenis elektrolit yang dapat membahayakan fungsi pipa tersebut. Tidak semua pipa dalam suatu sistem dalam *oil and gas service* menggunakan *coating* karena beberapa material pipa tersebut tidak bekerja dalam kondisi atau ancaman degradasi material yang berbahaya, misalnya korosi. Jenis *coating* yang diaplikasikan untuk pipa cukup banyak dan bervariasi. Aplikasi jenis *coating*nya pun bergantung pada permukaan pipa yang akan dilindungi. Pipa memiliki 2 permukaan (*surface*), yakni internal dan eksternal. Adapun sistem *coating* pada *pipeline* terbagi menjadi 2 macam berdasarkan jenis permukaannya (*surface*), yakni internal dan eksternal *surface*. Penggunaan *coating* untuk eksternal *surface* dikondisikan dari penempatan pipa pada suatu sistem. Adapun beberapa kondisi tertentu yang menggunakan *coating* eksternal *surface* adalah:

- ❖ *Buried Steel Facilities*: Korosi pada pipa yang dipasang di dalam tanah.
- ❖ *Atmospheric Corrosion*: Korosi yang terjadi karena pipa berada di lingkungan atmosferik.
- ❖ *Tide* : Korosi yang terjadi karena pipa berada pada daerah air laut
- ❖ *Other Materials*: Korosi yang terjadi pada pipa, dikarenakan pipa tersebut berada pada di lingkungan yang sangat korosif, contohnya *splash zone*.

2.3.2 Mekanisme Pengendalian Korosi Menggunakan *Protective coating*

Dari fungsinya sebagai penghalang antara lingkungan dengan substrat agar tidak terjadinya kontak dan berakibat adanya reaksi kimia. Pada perannya tersebut *protective coating* memiliki mekanisme proteksinya yaitu:

A. Lapisan Penghalang (*Barrier Coating*)

Lapisan ini berfungsi sebagai penghalang antara permukaan material dengan lingkungan. Selain itu lapisan



penghalang ini berfungsi untuk mencegah pembentukan elektrolit pada daerah *interface* lapisan/permukaan dan menghalangi molekul oksigen untuk berdepolarisasi. Penetrasi air dan oksigen ke dalam permukaan akan menjadi tidak signifikan ketika tidak adanya ion pada permukaan. Pada dasarnya hampir semua lapisan perlindungan korosi logam dengan membentuk penghalang antara logam dan elektrolit dalam lingkungan. Penetrasi yang terjadi pada kebanyakan lapisan oleh air dan oksigen relatif cepat, tetapi penetrasi larutan garam (ion) relatif lambat. Dengan demikian, lapisan penghalang dapat memberikan pengendalian korosi selama beberapa tahun. Sebenarnya waktu yang lapisan ini memberikan perlindungan penghalang tergantung pada: (Jenkins, 2012):

- ❖ Sifat Permeabilitasnya
- ❖ Jumlah dan jenis penambahan pigment dan aditif
- ❖ Ketebalan *Coating*
- ❖ Kualitas Formulasi *Coating*
- ❖ Kebersihan saat persiapan permukaan
- ❖ Keretakan *coating* dengan substrat
- ❖ Tingkat korosifitas lingkungan

Tidak ada lapisan organik benar-benar *impermeable* terhadap elektrolit. Namun beberapa lapisan penghalang seperti yang ada pada *epoxy*, melakukan fungsi ini sangat baik, terutama jika permukaan logam bebas dari garam yang terlarut kedalam lapisan film. *Epoxy* dengan pelarut minyak memiliki permeabilitas yang baik. *Epoxy* pada daerah *immers* yang memiliki perbedaan konsentrasi ionic antara bagian luar *coating* (*coating* dengan lingkungan) dan bagian dalam *coating* (*coating* dengan substrat), hal ini yang menyebabkan migrasi air melewati lapisan dan memicu terjadinya *blistering*.

Secara umum semakin besar ketebalan penghalang, maka perlindungan lebih terhadap permukaan logam akan tersedia. Namun ketebalan dari lapisan film, juga akan mempengaruhi fleksibilitasnya. Suatu lapisan yang tidak memiliki



fleksibilitas yang baik dan tidak mudah untuk bereaksi dengan substrat (pemuaian) akan meningkatkan tingkat resikonya terhadap retak dan mengalami *disbonding*.

B. Lapisan Inhibisi (*Inhibitive Coating*)

Lapisan inhibisi berfungsi untuk memperlambat reaksi yang terjadi pada anoda, katoda, ataupun pada keduanya. Supaya lebih efektif, lapisan inhibisi harus menempel langsung pada permukaan material. Untuk terbentuknya lapisan inhibisi, maka lapisan harus ditambahkan senyawa kimia yang berfungsi untuk menghalangi reaksi yang terjadi pada permukaan material. Selain itu, agar terbentuk lapisan inhibisi juga diperlukan sedikit kelembaban dan pigmen. Pigmen ini nantinya akan mempasifasi permukaan material dengan membentuk lapisan tipis yang melekat dengan kuat pada permukaan.

C. Proteksi Anodik (*Sacrificial*)

Metode ini menggunakan material yang lebih anodik dibanding material yang ingin dilindungi. Proteksi anodik ini biasanya mengandung zink sebagai pigmen utamanya dan memanfaatkan sifat keelektronegatifan dari zink agar lebih efektif. Ketika material terekspos di lingkungan korosif, lapisan ini akan melindungi material dengan menjadi anoda korban. Metode ini hanya efektif untuk digunakan pada lapisan primer dikarenakan zink harus bereaksi dengan permukaan logam agar terbentuk lapisan proteksi.

2.4 Persiapan Permukaan

Persiapan permukaan merupakan bagian yang terpenting dari sistem pelapisan (*coating*). Lebih dari 60% keberhasilan sistem pelapis untuk menanggulangi permasalahan korosi ditentukan oleh persiapan permukaan yang dilakukan pada substrat. Penggunaan bahan pelapis dengan spesifikasi paling baik sekalipun, bila tidak disertai dengan persiapan permukaan yang sesuai dan memadai, tidak akan mampu melindungi



komponen baja dengan baik dan hanya akan menyebabkan kerugian.

Dalam memilih cara persiapan permukaan, selain tergantung dari permukaan baja yang akan dilapisi, juga tergantung dari sistem pelapisannya. Pada spesifikasi bahan pelapis, umumnya telah tercantum persiapan permukaan yang harus dilakukan sebelum aplikasi pelapisan. Persiapan permukaan ini sangatlah penting, dikarenakan apabila tidak dilakukan dengan prosedur dan standar yang sesuai dapat menyebabkan kegagalan fungsi lapisan sebelum masa waktunya. Pada umumnya persiapan permukaan dengan taraf yang lebih rendah akan menghasilkan tingkat proteksi yang lebih rendah pula. Adapun tujuan dari persiapan permukaan adalah sebagai berikut :

- ❖ Membersihkan segala jenis kotoran dan kontaminan pada permukaan baja, seperti kulit besi, karat ataupun produk korosi, debu, kontaminan berupa garam, dan minyak serta berbagai kontaminan lainnya.
- ❖ Membentuk profil mekanik pada permukaan, dimana permukaan yang kasar akan berperan sebagai celah (gigi) yang dapat dimanfaatkan pelapis untuk melakukan penetrasi dan mengikat substrat
- ❖ Meningkatkan kekuatan adhesi antara substrat dengan bahan pelapis

Berbagai metode pembersihan dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan metode pencucian dengan menggunakan *solvent*, dengan cara manual yaitu menggunakan *hand tools*, dengan alat pembersih mekanik seperti *power tools*, dan dapat dilakukan dengan metode penyemprotan partikel padat atau dikenal dengan *abrasive*. Cara pembersihan dengan metode *abrasive* merupakan cara yang paling umum digunakan pada sistem persiapan permukaan, dimana dalam hal ini diperlukan derajat kebersihan yang tinggi. Partikel abrasif akan menumbuk dan mengikis permukaan logam sehingga semua pengotor dan kontaminan akan terlepas dari permukaan logam. Partikel abrasif



yang digunakan dapat berbentuk bundar (*shot*), pipih tajam (*grit*), dan berbentuk silinder (*cut wire*). Untuk mendapatkan tingkat kekerasan permukaan (*surface profile*) tertentu, tergantung dari jenis abrasif yang digunakan dan kekuatan tumbukan partikel pada permukaan logam. Persiapan permukaan ini nantinya akan disesuaikan dengan tingkat keperluan dan mutu bahan cat. Oleh sebab itu dikeluarkanlah standar-standar tingkat kekerasan, yang diantaranya adalah standar SA yang dikeluarkan oleh *Swedish Institute for Standard (SIS)*.

Tabel 2.3 Standar-Standar dalam Persiapan Permukaan

Description	Swedish SIS 05 5900	American SSPC-SP	International ISO-8501-1
White metal	Sa 3	SSPC - SP 5	Sa 3
Near white metal	Sa 2½	SSPC - SP10	Sa 2½
Commercial blast	Sa 2	SSPC - SP 6	Sa 2
Brush-off blast	Sa 1	SSPC - SP 7	Sa 1
Power tool cleaning	St 3	SSPC - SP 3	St 3
Hand tool cleaning	St 2	SSPC - SP 2	St 2

Pada penelitian ini standar persiapan permukaan yang dilakukan adalah SA 2.5. Dimana pembersihan atau penyemprotan partikel *blasting* pada permukaan substrat menghampiri putih (*near-white blast cleaning*). Hal tersebut menandakan bahwa secara kasat mata (visual) warna pada substrat hasil metode abrasif mendekati putih, bersih dari segala kotoran dan kontaminan dan noda ataupun bintik kecil yang tertinggal tidak boleh melebihi 5% dari total luasan permukaan yang dibersihkan. Pada umumnya untuk dapat mengetahui tingkat kebersihan yang dikehendaki telah tercapai, dipakai acuan warna sebagai perbandingan berupa referensi warna permukaan atau disebut juga *pictorial surface standard*. Sedangkan untuk mengetahui tingkat kekerasan permukaannya menggunakan alat dengan *magnifier surface profile comaprat*.



Tabel 2.4 *Pictorial Example dari Baja*

Rust grade	Pictorial example	Description
A		Steel covered completely with adherent mill scale and with, if any, little rust.
B		Steel surface which has begun to rust and from which the mill scale has begun to flake.
C		Steel surface on which the mill scale has rusted away or from which it can be scrapped, but with little pitting visible to the naked eye.
D		Steel surface on which the mill scale has rusted away and on which considerable pitting is visible to the naked eye.

Tabel 2.5 *Pictorial Example dari Baja Setelah Sand Blasting*

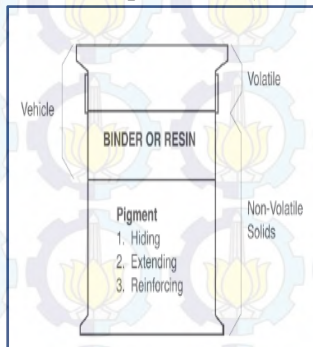
Cleaning standard	Initial steel condition (see also table 1).			
	A	B	C	D
St2 – Hand tool cleaning	Not applicable			
St3 - Power tool cleaning	Not applicable			
Sa1 -Brush-off blast	Not applicable			
Sa2 - Commercial blast	Not applicable			



(Sumber : ISO 8501-01, 2007)

2.5 Organic Coating

Organic coating berbahan dasar *liquid* atau cair yang terdiri dari tiga komponen penyusun dasar yaitu *binder*, pelarut (*solvent*), dan *pigmen*. Terkadang tidak semua *organic coating* terdiri dari tiga komponen diatas, namun yang pasti memiliki komponen *binder*. Pada proses perkembangannya, saat ini mulai banyak ditemukan *organic coating* yang tidak menggunakan pelarut (*solvent free*) dan juga *pigmen*. Dalam pengemasan, *binder*, pelarut, dan *pigmen* dibagi menjadi bagian-bagian yang berbeda untuk nantinya dapat digunakan dalam kondisi tertentu dan disesuaikan pada saat diperlukan. (Drisko, 2012)



Gambar 2.6 Komposisi Penyusun *Coating* (Drisko, 2012)

Dalam beberapa ketentuan aplikasi, *liquid* dapat dibedakan dua komponen yaitu *vehicle* dan *solid phase*. *Vehicle* atau komponen cair terdiri dari *binder* dan pelarut (*solvent*).



Binder biasa disebut dengan *non-volatile* dan pelarut (*solvent*) disebut dengan *volatile*. Selanjutnya *solid phase* atau fasa padat yang terdiri dari *pigmen* dan zat aditif. Karena *pigmen* memiliki berat yang lebih jika dibandingkan dengan komponen lainnya, maka saat ditempatkan dalam kemasan, *pigmen* akan berada pada bagian dasar kemasan. Pada proses aplikasi *coating*, pada *coating* akan terjadi reaksi kimia dan mengalami proses pengeringan, dimana saat proses pengeringan, pelarut akan menguap dan *pigmen* serta *binder* mengalami pengeringan menjadi solid. Hal ini yang dinamakan *solid volume* dalam kemasan *organic coating* pada pasaran. Persen volume solid sendiri dalam aplikasi dapat dipertimbangkan untuk menentukan ketebalan *coating* yang diinginkan saat kering dengan mengukur ketebalannya pada saat kondisi basah. Berikut perhitungan DFT (*Dry Film Thickness*) dari WFT (*Wet Film Thickness*) (Corrosion Care Indonesia, 2007).

$$WFT = \frac{DFT(\text{mikron}) \times 100}{\text{Percent Solid by Volume}} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$DFT = \frac{WFT(\text{mikron}) \times \text{Percent Solid by Volume}}{100} \dots\dots\dots (2.9)$$

Data persen solid diberikan oleh produsen yang diinformasikan melalui *technical data sheet* (TDS). Jika ada penambahan pelarut untuk mengurangi kekentalan, kandungan volume solid dalam produk tersebut akan berkurang (total volume akan bertambah, tetapi solid volume tidak). Hubungannya akan berubah seperti digambarkan dibawah ini :

$$WFT = \frac{DFT(\text{mikron}) \times (100 + \text{percent added solvent})}{\text{Percent Solid by Volume}} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$DFT = \frac{WFT(\text{mikron}) \times \text{Percent Solid Volume}}{(100 + \text{percent added solvent})} \dots\dots\dots (2.11)$$



Terdapat beberapa jenis *organic coating* berdasarkan jenis pelarut (*solvent*) yaitu, *sovent borne*, *water borne*, and *free borne*. *Free borne* terdapat pada *epoxy* dengan persentase solid hingga 100% dan tidak menggunakan pelarut dalam aplikasinya untuk mengurangi terjadinya pori saat proses aplikasi (Corrosion Care Indonesia, 2007).

2.5.1 Bahan-Bahan Penyusun *Organic Coating*

Adapun lomponen-komponen penyusun *organic coating* adalah sebagai berikut:

2.5.1.1 *Binder*

Binder adalah komposisi utama dalam membuat lapisan organik. *Binder* merupakan suatu bahan yang membentuk lapisan berkelanjutan yang nantinya akan menempel pada material baja. Dimana *binder* akan mengikat komponen-komponen lainnya sehingga membentuk suatu lapisan dan akhirnya menghasilkan permukaan lapisan luar yang keras (NACE CIP Committe, 2012). Untuk membuat lapisan proteksi pada permukaan, resin *binder* haruslah berubah dari keadaan *liquid* menjadi solid yang nantinya akan menempel pada permukaan dan melindungi permukaan tersebut. Hal yang perlu diketahui tentang *binder* adalah bagaimana binder tersebut mengalami *curing*. Pada umumnya *binder* dapat mengalami *curing* dengan dua cara: Pertama adalah melalui evaporasi *solvent*. *Binder* yang mengalami *curing* seperti ini disebut binder *thermoplastic* atau *non-covertible*. Kedua adalah lewat reaksi kimia selama atau setelah proses pengecatan. *Binder* ini dikenal sebagai binder *thermosetting*. Selain itu, hal yang harus dipahami dari binder adalah viskositas. Karena merupakan komponen utama dalam *coating*. Viskositas *binder* sangat menentukan viskositas dari *coating*. *Coating* harus mempunyai viskositas cukup rendah untuk bisa digunakan dengan peralatan pengecatan sederhana (*brush*, *roller* atau *spray*) serta memiliki viskositas cukup tinggi sehingga tidak menetes. Faktor utama yang menentukan viskositas *binder* adalah berat



molekularnya. Polimer yang mempunyai berat molekul tinggi akan lebih viskous daripada berat molekul rendah. Ada dua cara untuk mengontrol viskositas suatu *coating*, yaitu dengan memvariasi berat molekul *binder* atau dengan menambahkan sejumlah *solvent*.

Fungsi utama dari *binder* sendiri adalah menyediakan struktur fisik untuk mendukung *pigmen* dan aditif. Contoh dari *binder* adalah *epoxy*, *polyurethane*, alkid, akrilik, *polyester*, dan beberapa produk *binder* lainnya. Dalam membuat lapisan organik, dapat digunakan dua macam *binder* ataupun lebih sehingga dapat meningkatkan sifat lapisan. *Binder* juga memengaruhi berbagai faktor penggunaan dalam cat, diantara lain:

- ❖ Mekanisme dan durasi pengeringan
- ❖ Peforma dalam berbagai lingkungan
- ❖ Peforma dengan berbagai substrat
- ❖ Ketersesuaian dengan jenis lainnya
- ❖ Flexibilitas dan kekerasan
- ❖ Daya lekat cat
- ❖ Kemudahan dalam aplikasi

2.5.1.2 Solvent

Pelarut digunakan untuk melarutkan *binder* dan memudahkan pengaplikasian pengecatan. Hal ini dikarenakan pada temperatur normal, beberapa *binder* berada dalam keadaan solid. Pelarut memiliki dua karakterisasi utama yang dapat mempengaruhi dalam pelapisan, yaitu:

- ❖ *Solvency power*: kemampuan untuk tidak larut dalam resin
- ❖ *Volatility*: laju penguapan pelarut

Ketika lapisan telah mengalami *curing*, pelarut tidak akan memiliki fungsi apapun terhadap lapisan. Jika ternyata pelarut masih ada ketika lapisan telah mengalami *curing*, maka hal ini dapat menyebabkan permasalahan. Penggunaan pelarut



sendiri dibatasi karena pelarut merupakan senyawa yang dapat mencemari lingkungan.

Kebanyakan orang yang melakukan aplikasi *coating* tidak memperhatikan terhadap pengaruh penambahan pelarut ketika pengaplikasian cat. Terlalu banyak pelarut atau penambahan *thinner* akan mengakibatkan terjadinya *sagging* dan pembentukan *pinhole* ketika terjadi penguapan pelarut pada lapisan *coating* (SSPC, 2012). Penggunaan pelarut yang tidak sesuai akan menyebabkan terbentuknya porositas dan *discolor*, (S. González, 2001). *duration*, tingkat gloss yang rendah, mata ikan, kekuatan lapisan yang rendah serta daya adhesi yang buruk. Selain itu, konsentrasi pelarut juga berpengaruh terhadap pembentukan ikatan silang pada beberapa jenis cat. Dengan tingginya konsentrasi pelarut akan menurunkan konsentrasi monomer yang ada sehingga berat molekul menjadi turun. Konsentrasi pelarut yang tinggi juga akan menyebabkan reaksi transfer antar ikatan rantai berkurang yang juga dapat mengurangi berat molekul. (Wicks, 1999)

2.5.1.3 Pigmen

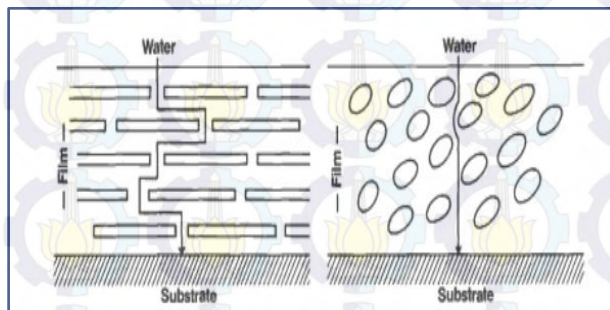
Pigmen dapat dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu pigmen pewarna, *extender* atau biasa disebut *pigmen* pengisi, *pigmen* inhibisi dan juga *pigmen* metalik. *Pigmen* pewarna tentunya berfungsi untuk memberikan warna tertentu pada lapisan *coating* sehingga menambah nilai estetikanya. Pigmen pewarna yang digunakan pada *coating* harus memiliki sifat:

- ❖ *High hiding power*
- ❖ *Colour fastness*
- ❖ *Non bleeding* (tidak larut dengan pelarut)
- ❖ Ketahanan kimia yang baik
- ❖ Dapat menyerap sinar ultraviolet

Extender pigments atau biasa disebut bahan pengisi atau *reinforcing pigments* memiliki fungsi tersendiri dalam sistem *coating*. Suatu *extender* umumnya berbentuk serbuk dan memiliki ukuran tertentu. *Extender* dapat dideskripsikan sebagai suatu



pigmen spesial yang tidak atau sedikit memiliki sifat *hiding power*. *Extender* biasa digunakan untuk mengganti sebagian pigmen pewarna dan pelindung yang harganya mahal. Selain untuk memodifikasi harga, penggunaan *extender* ini juga dapat ditujukan untuk meningkatkan kualitas *coating* yaitu tidak mengalami *sagging* ketika diaplikasikan untuk lapisan yang tebal. Selain itu dengan menambahkan *extender* dengan komposisi tertentu maka akan didapat tingkat *glossy* dan konsistensi *coating* yang baik jika diaplikasikan dengan *spray*, *roll* dan *brush*. Selain itu *extender* juga dapat mencegah sedimentasi dari pigmen, meningkatkan sifat mekanik, meningkatkan ketahanan cat terhadap air dan unsur kimia membentuk lapisan pelindung dari radiasi sinar ultraviolet.



Gambar 2.7 Ilustrasi Bentuk Pigmen Terhadap Laju *Moisture* (Arman, 2011)

2.5.1.4 Aditif

Aditif adalah komponen *liquid* dari lapisan yang biasanya ditambahkan dalam jumlah kecil. Aditif berguna untuk menambahkan sifat tertentu pada lapisan. Beberapa aditif dapat memastikan stabilitas lapisan dan juga dapat membantu dalam pengaplikasian pelapisan. Berikut adalah contoh penggunaan aditif :

- ❖ Pembasahan agen untuk membantu dalam penyebaran *air-borne coating*



- ❖ Aditif untuk mencegah penggumpalan, pengeringan, atau lainnya
- ❖ Kerusakan cat basah selama Penyimpanan
- ❖ *Biocides* untuk stabilitas di kaleng selama penyimpanan
- ❖ *Driers* untuk mempercepat penyembuhan dari minyak-base coating
- ❖ *Plasticizers* untuk memberikan fleksibilitas untuk film sembuh
- ❖ *Mildewcides* untuk mengendalikan pertumbuhan jamur pada film kering

2.5.2 Material Coating

Terdapat berbagai macam metode *coating* sebagai bentuk perlindungan dari korosi. Pada pengujian ini metode pelapisan yang digunakan adalah *3 layer polyethylene (3LPE)* dan *3 layer polypropylene (3LPP) coating*. Pada pelapisan dengan metode ini, pada lapisan pertama digunakan material berupa cat epoksi. Lapisan kedua berupa lapisan *adhesive* yang mampu berikatan baik dengan lapisan *primer* dan lapisan *top coat*. Sedangkan bahan yang dipakai sebagai lapisan *top coat* adalah polyethylene ataupun polypropylene.

2.5.2.1 Epoksi

Resin epoksi atau secara umum dikenal dengan bahan epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok termoset. Polimer pada perkembangannya saat ini banyak digunakan sebagai bahan substansi untuk logam terutama karena sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi, dan kimia, dan murah, khususnya untuk aplikasi-aplikasi pada temperatur rendah.

Istilah polimer sendiri digunakan untuk menggambarkan bentuk molekul raksasa atau rantai, yang terdiri atas unit-unit terkecil yang berulang-ulang atau mer atau meros sebagai blok-blok penyusunnya. Molekul-molekul (tunggal) penyusun polimer dikenal dengan istilah monomer. Polimer umumnya dikelompokkan berdasarkan perilaku mekanik dan struktur



rantainya. Polimer termoplastik adalah jenis polimer yang memiliki struktur rantai yang linier, bercabang (*branched*), atau sedikit bercabang (*cross-link*). Polimer dari jenis ini akan melunak pada saat dipanaskan dan menjadi keras dan kaku (*rigid*) pada saat didinginkan berulang-ulang. Sementara itu polimer termoset (*termosetting*), hanya melebur pada pertama kali dipanaskan dan selanjutnya mengeras secara permanen pada saat didinginkan. Polimer jenis ini bersifat lebih keras dan kaku (*rigid*) jika dibandingkan dengan termoplastik, karena struktur molekulnya yang membentuk jejaring tiga dimensi yang saling berhubungan (*networking*). Polimer jenis elastomer, misalnya karet alam, memiliki daerah non-linier yang sangat besar yang disebabkan oleh adanya sambungan-sambungan antar rantai (*cross-link*) yang berfungsi sebagai pengingat bentuk (*shape memory*) sehingga karet dapat kembali ke bentuk semula ada saat beban eksternal dihilangkan.

Epoksi dibentuk melalui proses polimerisasi kondensasi, bahan plastik yang tidak dapat dilunakkan kembali atau dibentuk kembali kekeadaan sebelum mengalami pengeringan. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada temperatur kamar dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan hasil yang optimum. *Epoxy* termasuk kelompok polimer yang digunakan sebagai bahan pelapis, perekat, dan sebagai matriks pada material komposit di beberapa bagian struktural, resin ini juga dipakai sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan, dan perekat. Digunakan juga pada banyak aplikasi seperti automotif, *aerospace*, perkapalan, dan peralatan elektronik yang secara umum memiliki sifat yang baik dalam hal reaksi kimia, konduktivitas termal, konduktivitas listrik, tahan korosi, kekuatan tarik dan kekuatan bending sangat baik.

Resin *epoxy* mempunyai sifat-sifat: berstruktur amorf, tidak bisa meleleh, tidak bisa didaur ulang, atom-atomnya berikatan kuat sekali. Keunggulan yang dimiliki resin *epoxy* ini adalah ketahanannya terhadap panas dan kelembaban, sifat



mekanik yang baik, tahan terhadap bahan-bahan kimia, sifat insulator, sifat perekatnya yang baik terhadap berbagai bahan, dan resin ini mudah dalam modifikasi dan pembuatannya. Namun demikian *epoxy* juga mempunyai kelemahan pada sifat ketahanan abrasi dan getas. Kegunaan *epoxy* sebagai bahan matriks dibatasi oleh ketangguhan yang rendah dan cenderung rapuh. Oleh sebab itu saat ini terus dilakukan penelitian untuk meningkatkan ketangguhan bahan matriks *epoxy* (Koleske, 2012).

2.5.2.2 Epoksi sebagai Material Coating

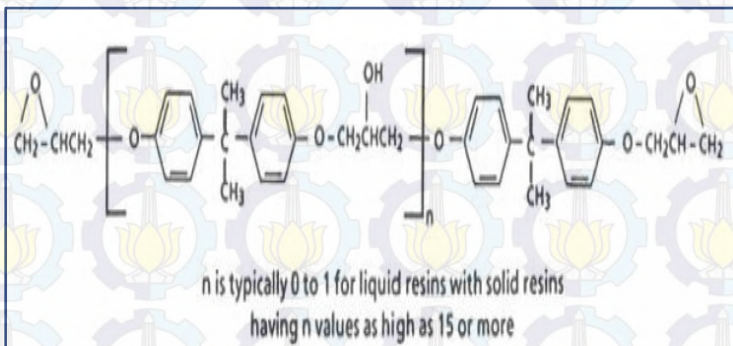
Epoxy adalah jenis polimer yang biasa digunakan untuk pelapisan dalam bentuk *liquid* maupun *powder*. *Epoxy* bisa dibuat dari salah satu Tiga bahan dasar utama seperti Bisphenol A, *Bisphenol F* dan *Novolac*. Cat *Epoxy* terdiri dari dua komponen, yaitu *Base paints* dan *Curing Agents*. *Curing Agent* pada cat *Epoxy* berfungsi sebagai pembentuk ikatan molekul tiga dimensi. (J. Havlik, 2007).

Resin *epoxy* berbasis BPA dikembangkan secara independen oleh Pierre Castan di Swiss dan oleh Sylvan Greenlee di Amerika Serikat selama tahun 1930-an dan 1940-an. Struktur untuk resin *epoxy* ini dapat dilihat pada Gambar 2.8. Bisphenol memiliki sifat yang unik dari sifat karakteristiknya dan aplikasinya yang dapat digunakan dalam berbagai teknologi. Karakteristik tersebut meliputi kekuatan adhesi yang baik dan ketahanan terhadap korosi, nilai penyusutan yang rendah, kekuatan yang tinggi, tahan terhadap panas yang baik, ketangguhan yang baik, dan sifat listrik yang sangat baik. Karena adhesi dan ketahanan korosi, resin *epoxy* telah digunakan dalam pelapisan primers dan coating sejak resin *epoxy* yang pertama dikomersialkan. Selain itu, sifat ketahanan kimia yang baik membuat *epoxy* sebagai pelapis yang memberikan perlindungan yang baik terhadap lingkungan yang korosif. Mereka digunakan secara luas dalam lapisan kilang, pabrik kimia dan peralatan laut, seperti kapal dan platform lepas pantai. Selain itu aplikasi resin *epoxy* juga mampu melindungi perlengkapan otomotif, pesawat, dan pipa. Ketahanan korosi mengakibatkan



pengembangan *epoxy* sebagai pelapis digunakan untuk interior lapisan dari kaleng minuman (Koleske, 2012).

Selain itu *epoxy* sebagai coating sering digunakan karena memiliki sifat *Surface Tolerant* (tidak membutuhkan kekasaran atau tingkat kebersihan yang spesifik pada substrat). Kedua, bisa dicampur dengan bermacam *curing agents*, *Pigmen* dan *Binder* lain untuk mendapatkan sifat-sifat khusus yang diinginkan. *Epoxy* dapat digunakan pada lapisan manapun dalam *Coating System* (*Primer*, *Intermediate* dan *Top Coat*). Kekurangan yang dimiliki *coating epoxy* adalah lemah terhadap paparan sinar Ultraviolet yang terus menerus dan dapat mengakibatkan *Chalking* (pengapuran) sehingga mengalami penipisan (Vincent, 2010).



Gambar 2.8 Rantai Ikatan Kimia Dari Epoksi (Koleske, 2012)

2.5.2.3 Adhesive (Bonding Agent)

Adhesive layer (bonding agent) diaplikasikan pada penelitian ini sebagai lapisan kedua dari tiga lapis sistem pelapisan *polyethylene* atau *polypropylene* untuk mekanisme perlindungan pada pipa baja. Fungsi utama lapisan ini adalah untuk menambah ketebalan sekaligus mejadi sarana pengikat yang baik antar lapisan primer berupa lapisan *epoxy* dan lapisan atas (*top coat*) berupa *polyethylene*. *Adhesive* yang baik harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut: (Bahadori, 2015)



- ❖ Kekuatan mekanik yang sangat baik
- ❖ Stabilitas termal yang sangat baik
- ❖ Kekuatan adhesi yang baik antara layer satu dengan layer lainnya
- ❖ Memiliki ikatan homopolar dengan mantel *polyethylene* atau *polypropylene* sebagai lapisan teratas

Tabel 2.6 Sifat Fisik dari Lapisan *Adhesive*

Property	Unit	Test Method	Value
Density	g/cm ³	DIN 53479	0.900–0.950
Melting index (2.16 kg/190°C)	g/10 min	DIN 53735	0.5–8 or as suitable for application As PE (topcoat)
Elongation	%	DIN 53455	95 (min)
Melting point	°C	DSC	9 (typical)
Co-monomer content	%		

(sumber : Bahadori, 2015)

2.5.2.4 High Density Polyethylene (HDPE)

Komposisi kimia dari HDPE adalah poli (metilen) dengan struktur dominan linear. Setidaknya, terdapat satu kelompok terminasi di setiap rantainya yang mengandung gugus metil, dan hal tersebut tergantung dari metode manufaktur yang dilakukan. Sehingga kelompok terminasi pada ujung lainnya juga dapat mengandung gugus metil atau vinyl. Densitas dari HDPE pada umumnya dapat bervariasi dari 0,975 sampai 0.93 g/cm³, yang mencerminkan persentase kristal dan fase amorfnya. HDPE memiliki ketahanan terhadap kimia yang sangat baik. Titik kristalinitasnya yang tinggi dan permeabilitas rendah terhadap sebagian besar bahan kimia serta juga akan menurunkan reaktivitasnya terhadap polimer-polimer yang solid. HDPE sangat stabil dalam kondisi basa (alkali) larutan garam (salt) oksidator, asam organik, HCl, HF dan konsentrasi HNO₃. Di sisi lain, HDPE juga relatif stabil terhadap panas karena energi ikatan C-C



nya tinggi. Rantai polyethylene akan rusak pada temperatur sekitar 290-300°C. Oksigen akan menjadi agresif terhadap ikatan C-H ketika mencapai temperatur lelehannya 200-300°C. Pada saat HDPE terkena sinar matahari (UV) dan udara dalam jangka waktu yang relatif lama akan terjadi kemunculan retak pada permukaan, kerapuhan, dan degradasi sifat mekanik dan sifat dielectricalnya (Carne, 2009)

Polyethylene merupakan resin termoplastik yang dipakai sebagai lapisan paling atas (*top coat*) dalam metode *three layer polyethylene coating*. Sifat-sifat dari harus dimiliki dari pelapis *polyethylene* adalah sebagai berikut: (Bahadori, 2015)

- ❖ Memiliki *peeling resistance* yang baik
- ❖ Memiliki kekuatan mekanik yang baik
- ❖ Memiliki stabilitas thermal yang baik
- ❖ Memiliki kekuatan adhesi terhadap lapisan *adhesive* yang kuat
- ❖ Memiliki kekuatan *impact* yang baik
- ❖ Memiliki *penetration resistance* yang baik
- ❖ Memiliki stabilitas yang baik terhadap sinar ultraviolet

Tabel 2.7 Sifat Fisik dari Lapisan *Polyethylene*

Property	Unit	Test Method	Value
1. Density (in black)	g/cm ³	DIN 53479	0.946 min
2. Melting index (2.16/kg 190°C)	g/10 min	DIN 53735 ISO 1133D	0.3 (typical)
3. Elongation	%	DIN 53455	600–700
4. Tensile strength at yield	N/mm ²	DIN 53455 or ISO R 527	15 min
5. Tensile strength at break	N/mm ²	DIN 53455 or ISO R 527	25 min
6. Hardness	Shore, D	DIN 53505 or ISO 868	55 min
7. Vicat softening point	°C	DIN 53460	115 min
8. Melting point	°C	DSC	125
9. Low-temperature brittleness	°C	ASTM D 746	–70 no fracture
10. Stress-cracking resistance (methyl -ethylce-ton)	h	ASTMD 1693 or ISO 4599	> 1,000
11. Carbon black content	%	ASTM D 1603	2–2.5 min
12. Dielectric strength	kV/mm	IEC 243	30 min
13. Fungus bacteria	N/A	ASTMD 3173 and ASTM 3180	Pass no growth
14. 01 Tin 200°C	°C/min	EN728	30 min

(sumber : Bahadori, 2015)



2.5.2.5 Polypropylene (PP)

Sejak 1957, ketika *polypropylene* pertama kali diperkenalkan ke pasar, material tersebut telah menunjukkan tanda-tanda pertumbuhan yang stabil dikarenakan sifat fleksibilitas dan sifat mekanik yang relatif tinggi juga dengan biaya yang rendah. Semua keunggulan tersebut telah meningkatkan eksistensinya dan mengukuhkan stabilitasnya ke banyak sektor pasar, salah satunya seperti pada komponen otomotif (*bumper, dashboard*, dll), kemasan, furniture, serat dan beragam produk konsumen lainnya. Keberhasilan komersial dari *polypropylene* tidak terlepas dari dua faktor kunci yaitu; sifat intrinsiknya yang sangat baik dan fleksibilitasnya yang dapat difungsikan dan disesuaikan kedalam berbagai macam aspek, membuat material tersebut dapat memenuhi berbagai macam kebutuhan.

Selanjutnya, mulai dari proses produksinya sebagai bahan baku, menjadi barang jadi dan selanjutnya menjadi barang yang tidak terpakai (menjadi limbah), *polypropylene* sangatlah ramah lingkungan. Sifatnya yang murni inheren dan tidak beracun serta tidak mencemari lingkungan, sangat cocok difungsikan ke berbagai macam keperluan. Selain itu pabrik penghasil material ini juga beroperasi tanpa adanya emisi maupun limbah berupa gas ataupun cair, serta konsumsi energinya yang rendah. Limbah *polypropylene* sangat mudah dibakar tanpa terbentuknya residu abu ataupun asap berbahaya dan disaat yang sama menghasilkan tingkat energi panas yang tinggi yang dapat dimanfaatkan. *Polypropylene* juga dapat di daur ulang menjadi bahan baku produk untuk kegunaan lainnya.

Sejak tahun 1980-an, *polypropylene* telah diperkenalkan kepasar sebagai salah satu material pelapis untuk menjaga material dari korosi akibat interaksi dengan lingkungan. *Polypropylene* dikenal karena memiliki berbagai macam kelebihan yang tidak disediakan oleh jenis material lainnya, yaitu untuk melapisi pipa yang beroperasi dengan temperatur yang tinggi.



Pada aplikasinya sebagai *top coat*, keunggulan dari epoksi yang diantaranya adalah memiliki adhesi yang baik, *cathodic disbonding* yang tinggi serta sifat interfacial yang sangat baik, dikombinasikan dengan material *polypropylene* ini yang memiliki sifat fisik mekanik yang sangat baik, ketahanan kimia yang sangat baik, sifat permeabilitasnya yang rendah serta ketahanannya terhadap temperatur tinggi.

Sebelum adanya *polypropylene*, material *bituminous* seringkali dipakai sebagai *top coat*, namun meskipun mudah untuk diaplikasikan, material tersebut akan menjadi lunak di temperatur operasional yang tinggi dan menjadi getas di temperatur yang rendah, selain itu material tersebut sangat mudah untuk rusak akibat proses transport ada pada saat pengangkatan. Oleh karena itu di zaman ini, material seperti *polyethylene* dan *polypropylene* luas digunakan sebagai *top coat* karena memiliki banyak keunggulan. (Guidetti, 1996)

Tabel 2.8 Sifat Fisik dari lapisan *Polypropylene*

Property	Method	Conditions	Value
Density	Density bottle	23° C	0.7g/cm ³
Thermal Conductivity	ASTM C518	23° C	0.16w/m.K
Water Absorption	BS 903 A16	170h, 9°C, 12 bar	2.5%
Uniaxial Creep	BS 903 A15	1000h, 10°C, 30 bar	3%
Cathodic Disbonding	NF A 49 711	-1.5V, 3% NaCl, 23° C, 28 days	220 mm ²
Hot Water Test	ASTM D 870	95° C, 1000h, 5.8g/l NaCl	4mm
Penetration Resistance	NF A49711	10N/mm ² , 24h, 23°C	0.05mm
Impact Resistance	NF A 49711	1, 10KV	8 Nm



2.5.3 Kegagalan Pada *Organic Coating*

Jenis-jenis kerusakan lapisan *coating* yang umumnya terjadi dapat di bawah ini:

- a. Perubahan warna (*Gloss Retention*): Warna berubah menjadi kekuningan, abu-abu, atau menjadi gelap, perubahan ini dapat dilihat jelas dengan membandingkan lapisan yang di ekspose dengan yang tidak di ekspose ke lingkungan. Penyebab terjadinya perubahan warna ini adalah warna resin atau pigmen berubah karena pengaruh cuaca atau bahan kimia
- b. Pengapuran (*Chalking*): Permukaan lapisan menjadi lunak dan menyebabkan terjadinya perubahan warna serta penurunan kilap. Adanya pengapuran dapat dilihat dengan cara mengusapkan kapas basah ke permukaan lapisan cat sehingga menghasilkan tetesan air yang keruh dari kapas basah oleh permukaan lapisan cat.
- c. Retak Permukaan (*Checking*): Dicitrakan oleh adanya retakan yang tidak linier dan tidak kontinyu. Retakan ini hanya terjadi pada permukaan dan tidak menembus ke substrat. Pengkerutan ini biasanya disebabkan oleh cuaca dan polimerisasi serta oksida lapisan cat yang terus menerus.
- d. Retakan Tembus (*Cracking*): Retakan-retakan kecil yang terjadi pada lapisan sehingga menembus sampai ke substrat. Bentuknya dapat linier, menyilang atau melengkung. Retaknya bisa kontinyu ataupun tidak. Hal ini disebabkan oleh reaksi polimerisasi dan oksidasi secara terus menerus, pigmentasi yang salah atau sistem pengecatan yang kurang baik.
- e. Retak Kulit Buaya (*Alligator*): Merupakan jenis retakan “*macro-checking*” umumnya berbentuk seperti lubang-lubang jendela. Adanya tekanan internal sehingga lapisan cat bagian permukaan mengkerut lebih cepat daripada lapisan cat keseluruhan akibat polimerisasi atau penguapan *solvent* yang sangat cepat menjadi penyebab



kerusakan ini. Disamping itu penggunaan *top coat* yang keras diatas *under coat* yang lunak juga menyebabkan kerusakan ini terjadi.

- f. *Mud-Cracking*: Merupakan “*macro-cracking*” yang biasanya menembus ke substrat. Hal ini dapat menyebabkan cepatnya timbul korosi dan pengelupasan lapisan. Penyebab kerusakan ini adalah cat yang terlalu cepat mengering, khususnya terjadi pada cat emulsi air
- g. Pengerutan (*Wrinkling*): Pembentukan garis-garis kerutan pada permukaan lapisan cat. Dapat merupakan garis-garis lurus atau tak menentu dari yang berukuran kecil ataupun besar. Kesalahan dalam formula umumnya disebabkan oleh kandungan bahan pengering yang berlebihan sehingga permukaan lapisan cat mengembang menjadi sebab kerusakan ini. Hal ini sering terjadi pada *coating* dengan *oil base* atau *alkyd*
- h. Pelepuhan (*Blistering*): Pembentukan gelembung-gelembung besar atau kecil pada lapisan cat. Di dalamnya berisi gas atau cairan. Banyaknya dapat mencapai $1/\text{ft}^2$ sampai beberapa ratus/ ft^2 . Blistering sering disebabkan oleh kemampuan daya lekat cat yang kurang yang disebabkan preparasi permukaan yang tidak baik maupun adanya bahan yang larut (kontaminan air) pada lapisan. Gas-gas yang diabsorpsi ke permukaan logam atau *solvent* yang terperangkap juga dapat menyebabkan *blistering*.
- i. Kerusakan oleh Mikroorganisme: Terjadinya pelunakan atau adanya bitnik-bintik coklat atau hitam pada permukaan lapisan yang menyebabkan penampilan menjadi kotor. Penyebab kerusakan ini sering disebabkan oleh biodegradasi lapisan cat oleh bakteri atau jamur (lapisan digunakan sebagai sumber makanan)
- j. Erosi: Sering terjadi pada lapisan cat yang dikuas dimana pada daerah daerah tertentu yang banyak terdapat bekas-bekas kuas lapisan cat mengelupas. Penyebabnya adalah



terjadi mekanisme yang serupa dengan pengapuran dengan terlepasnya sebagian cat akibat cuaca abrasi.

- k. *Pengelupasan (Peeling)*: Kerusakan lapisan cat berupa irisan-irisan yang tergantung karena mengupas. Penyebabnya adalah daya lekat *coating* lebih kecil daripada regangan lapisannya. Jika lapisan *coating* dapat ditarik dengan mudah pada substrat, maka menandakan daya lekatnya hilang.
- l. *Menyerpih (Flaking)*: Lapisan cat terkelupas, mengkerut pada tepinya, mudah dilepas dari permukaan sehingga substratnya dapat terlihat. *Coating* dapat menjadi rapuh karena pengkerutan dibagian dalam. *Coating* minyak dapat meyerpih pada permukaan yang galvanis
- m. *Undercutting*: Adanya korosi yang mengembang di bawah lapisan yang dimulai dari daerah pecahan ataupun goresan, tepi atau lubang-lubang. Daya lekat *coating* akan berkurang yang diakibatkan oleh kontaminasi pada permukaan merupakan penyebab kerusakan ini.
- n. *Pinhole*: Lubang-lubang kecil yang terlihat oleh mata pada permukaan lapisan. Kerusakan ini biasa disebabkan oleh teknik penyemprotan yang tidak tepat. Serta kurangnya ketahanan *coating* terhadap panas.
- o. *Holiday*: Daerah-daerah kosong yang merupakan daerah tidak terlapis cat karena sukarnya untuk dilapisi. Disebabkan oleh aplikasi cat yang kurang sesuai dengan kondisi substratnya.
- p. *Bleeding*: Penodaan karena terjadi pemindahan pigmen berwarna yang dapat larut dari lapisan kering (Lapisan sebelumnya). Penyebabnya adalah resin atau *pigmen* yang larut dari lapisan cat sebelumnya.
- q. *Runs / Sags*: Lapisan *coating* bergerak turun, biasanya terjadi pada permukaan yang vertikal. Penyebabnya adalah aplikasi yang berlebihan.
- r. *Karat (Rusting)*: Terjadinya bintik-bintik karat karena lapisan *coating* rusak sehingga substrat yang tidak



tertutup oleh lapisan *coating* diserang oleh peristiwa korosi akibat kontak dengan lingkungan. Ini disebabkan pada *coating* dengan ketebalan lapisan lebih tipis dan semakin lama, semakin berkembang ke daerah lainnya.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Penelitian untuk mengetahui ketahanan korosi dan kekuatan adhesi terhadap persiapan permukaan dan ketebalan lapisan pada pipa baja karbon, dilakukan oleh Rini Riastuti, Sari Katili, dan Zulfikar Siddik. Adapun penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui efektivitas penggunaan lapisan epoxy untuk merehabilitasi jaringan pipa. Dimana hal tersebut merupakan bentuk pencegahan korosi terhadap pipa yang dipakai sebagai bahan transportasi hasil minyak bumi dengan metode pelapapisan cat (*epoxy*) pada permukaan pipa. Melalui hasil pengujian yang dilakukan pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa ketebalan lapisan *coating* mempunyai peranan yang sangat penting dalam keberhasilan sistem perlindungan terhadap korosi, dan terhadap sifat kekuatan antar ikatan lapisan dengan substrat (adhesi) yang baik. Dalam penelitian tersebut persiapan permukaan dilakukan dengan menggunakan standar kebersihan untuk mendapatkan *cleanliness level* SA 3. Metode untuk mendapatkan nilai tersebut adalah dengan perlakuan *sand blasting* dan proses pickling dengan variasi HCl 30% dan 20%. Selain itu variasi ketebalan lapisan *coating* yang dipakai adalah sampai ketebalan 250 μ m. Dari serangkaian pengujian yang dilakukan tersebut, memberikan hasil yang baik, dimana ketahanan korosi serta kekuatan adhesi dari lapisan *coating* (*epoxy*) masih memenuhi syarat sebagai lapisan pelindung yang baik. Namun yang menjadi faktor krusial pada penelitian kali ini adalah proses persiapan permukaan yang sesuai dengan prosedur serta ketebalan lapisan yang harus lebih diperhatikan untuk memperoleh umur lapisan *coating* sebagai pelindung pipa baja yang lebih panjang.

Selain itu terdapat pula penelitian yang dilakukan oleh Shin-ichi Funatsu, Yoshihiro Miyajima, dan Eichi Endoh, untuk mengetahui ketahanan korosi dari *polyethylene* dan *polypropylene*



coating pada temperatur tinggi. Berdasarkan berbagai pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil dimana *polypropylene coating* mempunyai nilai ketahanan terhadap indentasi (*indentation resistance*), kekuatan impact (*impact strenght*), dan *peel strength* yang lebih baik jika dibandingkan dengan *polyethylene* pada temperatur 100°C. Kemudian pada *polypropylene coating* dengan ditambahkannya mekanisme anti-oksidan, memiliki nilai ketahanan terhadap oksidasi termal yang baik sehingga dapat memiliki umur *coating* yang diperkirakan dapat sampai selama 25 tahun pada keadaan temperatur operasional 100°C. Adanya ketahanan terhadap *thermal oxidation* yang baik pada *polypropylene coating* menyebabkan hal tersebut dapat mencegah *internal stress cracking* yang disebabkan dari *defects* yang dapat terjadi pada *range* temperatur 23°C sampai dengan 100°C. Meskipun *residual stress* pada *polypropylene coating* lebih tinggi jika dibandingkan dengan *polyethylene coating*. Berdasarkan hasil pengujian impact dapat diketahui bahwa nilai kekuatan impact dari kedua jenis *coating* ini mengalami penurunan pada kondisi kenaikan temperatur. Nilai kekuatan impact dari *polyethylene coating* adalah 8 J pada temperatur 80°C sedangkan pada *polypropylene coating* adalah sebesar 22 J pada temperatur 100°C. Lebih tingginya nilai kekuatan impact *polypropylene coating* jika dibandingkan dengan *polyethylene coating*, menandakan bahwa *polypropylene coating* memiliki daya tahan yang tinggi serta tidak akan memiliki dampak yang signifikan jika diaplikasikan pada kondisi lingkungan yang berpasir maupun berbatu dengan temperatur operasional mencapai 100°C.

Penelitian lain yang dilakukan oleh G.P. Guidetti adalah untuk mengetahui kelebihan serta kekurangan dari lapisan *coating* berupa *epoxy*, *polyethylene* maupun *polypropylene*. Berdasarkan hasil data dalam penelitian tersebut dapat diketahui bahwa ketiga jenis lapisan tersebut dapat meningkatkan ketahanan korosi dari pipa baja jika dibandingkan pada material *bituminous* yang sering dipakai sebagai bahan pelapis pada saat itu. Namun *epoxy coating*



memiliki kekurangan yaitu dari segi kekakuannya, sifatnya yang lebih getas, serta dapat mengabsorpsi air khususnya pada kondisi temperatur tinggi. Sedangkan kekurangan *polyethylene coating* diantaranya adalah aplikasi idealnya hanya sampai temperatur 70°C, dimana hal tersebut dapat menyebabkan *defect* khususnya pada saat proses *handling* maupun pada saat instalasi pada temperatur yang tinggi. Selain itu ketahanan terhadap indentasi serta kekuatan impak yang tidak terlalu tinggi merupakan salah satu kekurangan dari *polyethylene coating*. Berdasarkan data pada penelitian ini, dapat diketahui bahwa kekuatan impak dan ketahanan terhadap benturan (*damage resistance*) dari *polypropylene coating* lebih tinggi jika dibandingkan dengan *epoxy* dan *polyethylene coating*. Selain itu dari segi kekuatan adhesi, *polypropylene* memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *polyethylene coating*. Sedangkan dari segi *water impermeability*, *polyethylene* dan *polypropylene* memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan *epoxy coating*.

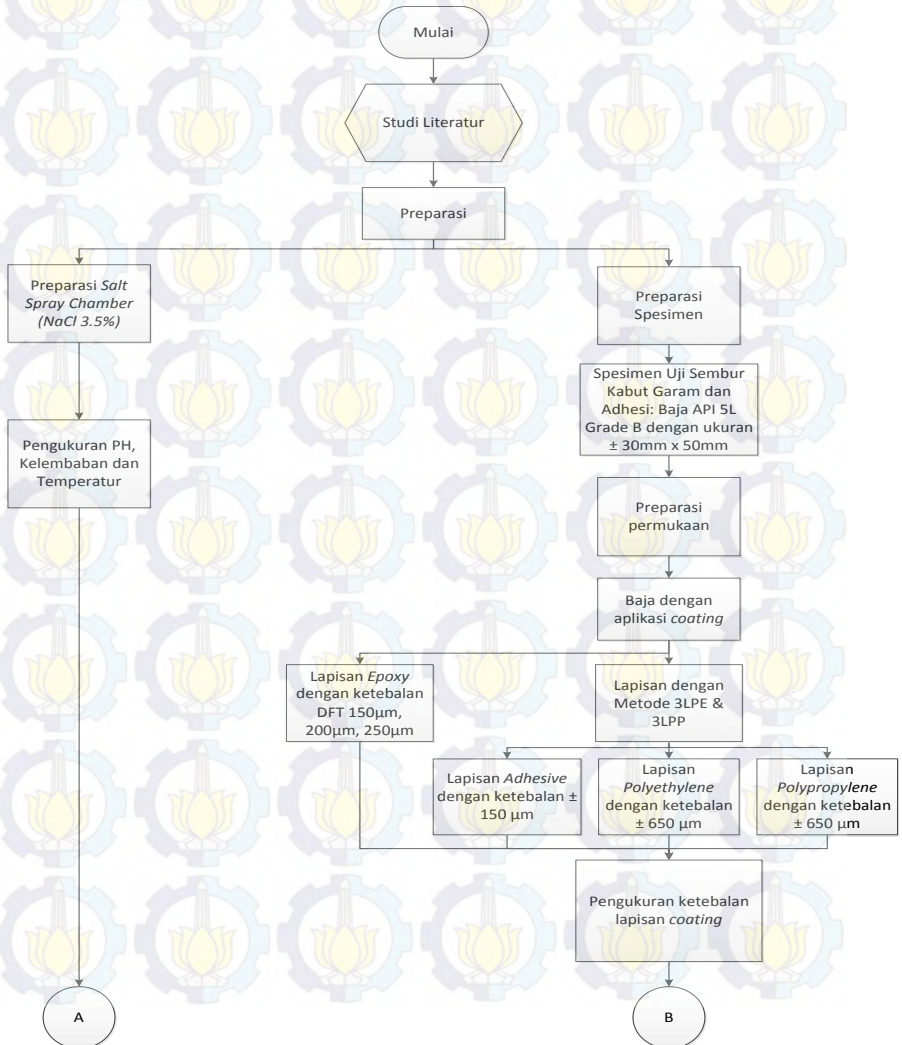


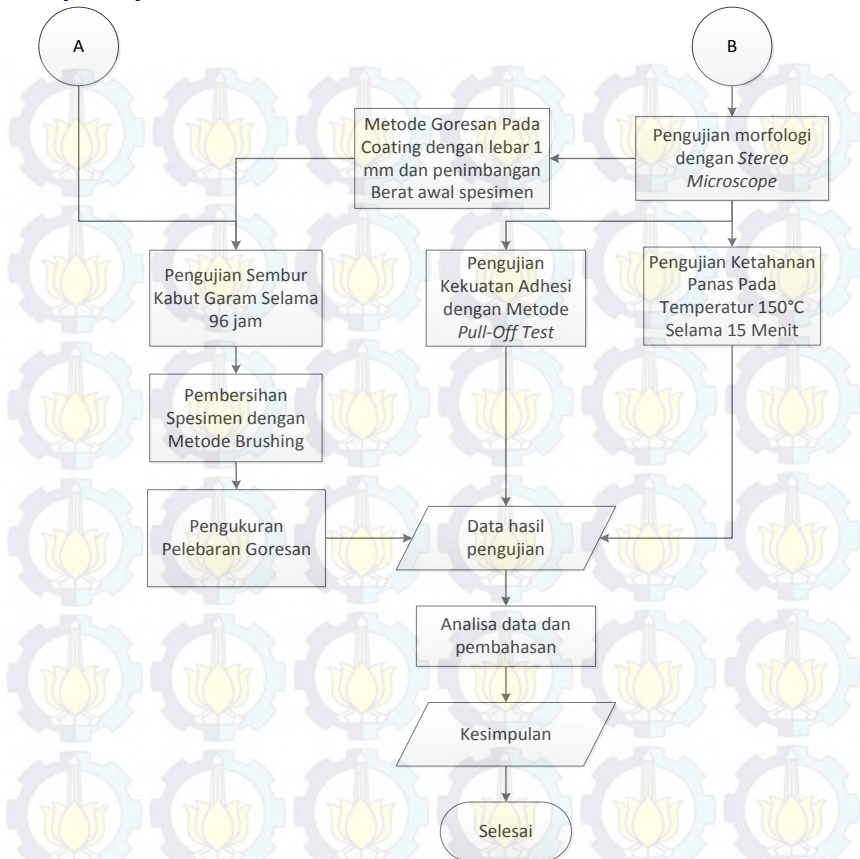
[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian sebagai acuan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Buku, jurnal serta informasi dari berbagai situs dan sumber penelitian merupakan acuan dari studi literatur pada penelitian kali ini. Berbagai sumber referensi ini membahas dan



memberikan informasi secara umum terutama mengenai korosi dan salah satu metode pengendaliannya yaitu dengan metode pelapisan (*coating*). Beberapa buku dan jurnal secara khusus juga membahas mengenai salah satu metode *organic coating* yaitu aplikasi *three layer polyethylene/polypropylene coating* pada pipa baja. Berbagai standard pengujian diantaranya adalah ASTM juga menjadi acuan dalam melakukan penelitian ini.

2. Eksperimental

Terdapat beberapa eksperimen ataupun uji coba yang dilakukan untuk mendukung serta menjawab tujuan dari penelitian kali ini. Adapun eksperimen yang dilakukan meliputi pengujian sembur kabut garam di dalam *salt spray chamber* selama 96 jam untuk mengetahui ketahanan korosi dari sampel uji. Dimana metode yang digunakan adalah dengan perhitungan pelebaran goresan dari masing-masing sampel uji. Pengujian *pull-off test* untuk mengetahui kekuatan adhesi atau daya ikat antar lapisan *coating*. Selain itu data dari hasil pengujian kekuatan adhesi akan dianalisa, mengenai pengaruhnya terutama terhadap ketebalan pelapis serta ketahanannya terhadap korosi. Pengujian ketahanan panas terhadap lapisan epoksi dengan temperatur 150°C selama 15 menit juga dilakukan, untuk mengetahui ketahanan lapisan tersebut terhadap temperatur tinggi. Serta pengujian morfologi pada bagian *cross-sectional* sampel untuk menganalisa ikatan yang terjadi antar lapisan.

3.3 Alat Penelitian

Peralatan-peralatan yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)

Alat ini digunakan untuk menimbang berat sampel uji sebelum dan setelah pengujian sembur kabut garam. Selain itu juga dipakai untuk menimbang berat serbuk NaCl yang nantinya akan dilarutkan untuk mendapatkan konsentrasi 3,5%.



Gambar 3.2 Neraca *Mettler Toledo*

2. Alat Preparasi Permukaan (*Sand Blasting*)

Alat ini digunakan untuk membersihkan permukaan substrat dari berbagai macam kontaminan seperti minyak, karat dan debu serta untuk menghasilkan kekerasan permukaan yang dibutuhkan.



Gambar 3.3 Alat *Sand Blasting*

3. Alat *Spray* Lapisan Epoksi (*Conventional Air Spray*)

Alat ini digunakan untuk aplikasi *coating* pada lapisan epoksi yang bekerja menggunakan udara yang berasal dari kompresor untuk memberikan tekanan pada cat epoksi sehingga cat epoksi tersebut dapat tersembur dan menempel pada permukaan substrat.



Gambar 3.4 Alat *Spray Cat Epoksi*

4. *Flashlight Magnifier*

Alat ini digunakan untuk melihat kebersihan permukaan sampel uji hasil *sand blasting*. Selain itu juga digunakan untuk menganalisa secara visual daerah hasil pengujian kekuatan adhesi.



Gambar 3.5 Alat *Flashlight Magnifier*

5. *Roughness Meter*

Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan permukaan yang dihasilkan dari proses *blasting*.

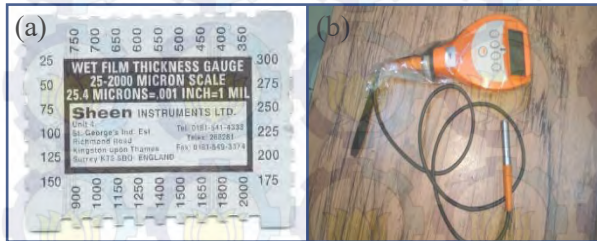


Gambar 3.6 *Roughness Meter Device*



6. Alat Ukur *Wet and Dry Film Thickness*

Alat ini digunakan untuk mengetahui tebal lapisan cat basah (WFT) dan lapisan cat setelah menyusut dan mengering (DFT) pada permukaan substrat.



Gambar 3.7 Alat ukur ketebalan lapisan. (a) WFT (b) DFT

7. Alat Uji *Pull-Off Test*

Alat ini digunakan untuk mengukur kekuatan ikatan (adhesi) antara lapisan dengan substrat. Perlatan lain yang mendukung pengujian ini diantaranya adalah *dolly* yang ditempelkan pada permukaan sebagai perantara antara beban yang diberikan dengan permukaan lapisan *coating*



Gambar 3.8 Alat Pengujian Kekuatan Adhesi. (a) alat *Pull-Off Test* (b) *Dolly*

8. *Muffle Furnace*

Alat ini digunakan untuk melebur *pellet polyethylene* dan *polypropylene* sehingga dapat melapisi sampel uji. Selain itu alat



ini jg digunakan untuk menunjang pengujian ketahanan panas pada lapisan epoksi.



Gambar 3.9 *Muffle Furnace*

9. *Stereo Microscope*

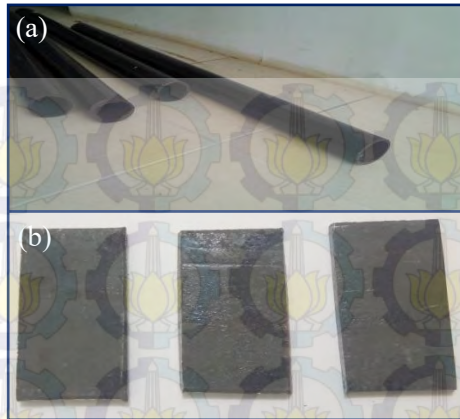
Alat ini digunakan untuk menganalisa secara visual morfologi dari bagian *cross-sectional* tiap lapisan pada sampel uji.



Gambar 3.10 *Stereo Microscope*

3.4 Bahan Penelitian

1. Material baja yang dipakai sebagai substrat dalam penelitian ini adalah Baja API 5L Grade B. Material baja yang awalnya berbentuk pipa kemudian di *rolling* menjadi berbentuk plat dan dipotong dengan jumlah sebanyak 25 sampel uji, seperti pada Gambar 3.11. Plat baja yang akan dijadikan substrat bagi lapisan *coating*, dipotong dengan ukuran 30mm x 50mm. Komposisi kimia baja sesuai dengan pada **Tabel 3.1**



Gambar 3.11 Pipa Baja API 5L Grade B (a) Sebelum *Dirolling* (b) Setelah *Dirolling* dan Dipotong

2. Lapisan Epoksi yang dipakai adalah cat Primer Merk *Jotun* dengan jenis *Penguard Primer*. Terdiri dari dua komponen, yaitu komponen A sebagai *Binder* dan komponen B sebagai *Curing Agent*. Sedangkan Pengencer (*Solvent*) yang dipakai adalah dengan menggunakan *Thinner* Merk *Jotun* No.17.



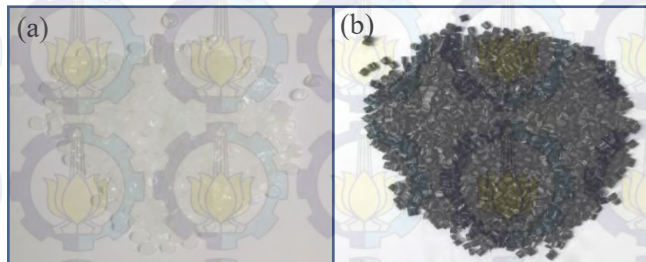
Gambar 3.12 Cat Epoksi Komponen A dan B

3. Lapisan *Adhesive* sebagai lapisan perantara untuk mengikat lapisan epoksi dan lapisan *top coat* berupa *polyethylene* ataupun *polypropylene* adalah menggunakan resin dan *hardener* dengan merk *Araldite*



Gambar 3.13 Resin dan Hardener Araldite

4. Lapisan teratas (*top coat*) pada penelitian kali ini menggunakan lapisan *polyethylene* ataupun *polypropylene*. Dimana dua mekanisme lapisan tersebut dibentuk dengan masing-masing dari bahan *pellet polyethylene* dan *pellet polypropylene*.



Gambar 3.14 Bahan Pelapis *Top Coat* (a) *Pellet Polyethylene* (b) *Pellet Polypropylene*

5. Elektrolit

Bahan yang digunakan sebagai elektrolit dalam pengujian sembur kabut garam pada penelitian ini adalah larutan NaCl dengan konsentrasi sebesar 3,5%. Konsentrasi tersebut digunakan untuk merepresentasikan kondisi korosif dari lingkungan. Larutan NaCl tersebut didapatkan dari dilarutkannya serbuk NaCl sebesar 35,24 gram kedalam setiap 1000 mL aquades.

**Tabel 3.1** Komposisi Kimia Baja *API 5L Grade B*

Spesimen	C %	Mn %	P %	S %	Ti %.
API 5L Grade B	0.28	1.20	0.03	0.03	0.04

Tabel 3.2 Komposisi Cat Epoksi (*Penguard Primer*)

Nama Bahan	%
<i>Epoxy Resin (MW 700-1200)</i>	10-25
<i>Xylene</i>	10-25
<i>n-butanol</i>	2,5-10
<i>Solvent Naptha, light arom</i>	2,5-10
<i>Etil Benzen</i>	2,5-10
<i>Propilen glikol monometil eter</i>	2,5-10

Tabel 3.3 Komposisi Pelarut (*Thinner Jotun No.17*)

Nama Bahan	%
<i>Solvent naptha(petroleum), light aromatic</i>	50-100
<i>Xylene</i>	10-25
<i>Butan-1-ol</i>	10-25
<i>Ethylbenzene</i>	2,5-10

3.5 Prosedur Penelitian

Untuk menunjang penelitian ini terdapat beberapa prosedur yang harus dilakukan. Prosedur dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

3.5.1 Preparasi Spesimen

3.5.1.1 Pemotongan Spesimen

Baja API 5L Grade B dengan diameter 2 inch *dirolling* sehingga membentuk plat dan kemudian dipotong dengan menggunakan mesin hidrolik. Pemotongan dilakukan di sentra industri logam Ngingas, kawasan Waru Surabaya. Dimensi baja



yang dipotong adalah 30mm x 50 mm dengan jumlah sebanyak 25 buah. Sampel baja tersebut nantinya akan dipergunakan sebagai substrat yang akan dilapisi dan kemudian di uji dengan pengujian sembur kabut garam untuk mengetahui ketahanan korosinya dan *pull-off test* untuk mengetahui kekuatan adhesinya. Setelah dipotong, Sampel kemudian digerinda pada bagian pinggirnya untuk menghilangkan tegangan sisa, serta di bagian tengah pada sampel-sampel yang memiliki permukaan yang tidak terlalu rata.

3.5.1.2 Preparasi Permukaan

Setelah dilakukan pemotongan dengan ukuran yang telah ditentukan, baja dibersihkan terlebih dahulu sebelum di *coating*. Standard yang digunakan adalah SSPC (*Steel Structures Painting Council*) dengan tahap pembersihan sebagai berikut :

- a. Membersihkan permukaan dari karat, *mill scale* dan pengotor lain dengan menggunakan *hand tool cleaning* dan *power tool cleaning*. Dilanjutkan dengan pembersihan *slag*, *spatter*, atau *scrap* hasil pemotongan sesuai dengan standar SSPC-SP3
- b. Melakukan *degreasing* untuk menghilangkan minyak, debu, dan pengotor yang menempel dengan menggunakan air sabun dan kemudian dikeringkan (SSPC-SP1)
- c. Melakukan proses *blasting* sesuai dengan standar SSPC-SP10 (*near white blast cleaning*) untuk mendapatkan kebersihan dengan nilai SA $2\frac{1}{2}$ pada spesimen yang akan diuji dengan pengujian sembur kabut garam, pengujian adhesi dan pengujian ketahanan panas. Proses sand blasting ini dilakukan pada permukaan sampel uji dengan menggunakan partikel *aluminium oxide* berbentuk bulat sampai mendapatkan nilai kebersihan SA $2\frac{1}{2}$



3.5.1.3 Pengecekan Kondisi Lingkungan

Dilakukan untuk memastikan keadaan lingkungan saat aplikasi *coating* sesuai dengan rekomendasi dan prosedur. Tahapan dalam proses ini adalah sebagai berikut:

- Mengukur, memeriksa dan mencatat temperatur udara menggunakan thermometer merkuri dan temperatur plat dengan menggunakan *magnetic surface thermometer*
- Mengukur kelembaban udara dengan digital *electronic hygrometer (Relative Humidity)* dimana maksimal angka yang diperbolehkan adalah 85%
- Mengukur *dew point*, dimana yang direkomendasikan adalah diatas 23°C diatas temperatur permukaan substrat atau spesimen.

3.5.1.4 Aplikasi Pelapisan

Proses pelapisan cat (*coating*) dilakukan dengan metode yang berbeda tiap lapisannya. Dimana lapisan pertama yaitu lapisan *epoxy* menggunakan metode *conventional spray*, lapisan kedua berupa lapisan *adhesive* dengan metode *hand lay-up* menggunakan kuas, dan *top coat* berupa lapisan *polyethylene* dan *polypropylene* menggunakan metode peleburan *pellet* masing-masing bahan didalam *furnace*.

- Pada lapisan pertama yaitu lapisan *epoxy*, menggunakan *conventional spray* sehingga mencapai *Wet Film Thickness (WFT)* yang diinginkan. Pengujian ketebalan basah menggunakan *WFT gauge* dengan standar ASTM D4414 dan ketebalan kering menggunakan *DFT electromagnetic gauge* dengan standar ASTM D1186. Terdapat tiga variasi ketebalan lapisan pada lapisan epoksi ini yaitu 150 μm , 200 μm , dan 250 μm .



Gambar 3.15 Hasil Lapisan Epoksi Dengan Metode *Spray*

- b. Lapisan kedua merupakan lapisan *adhesive* yang berfungsi untuk menyediakan kekuatan ikatan yang baik antara lapisan primer dan *top coat*. Bahan yang digunakan adalah resin dan hardener adhesive dengan merek *Araldite* yang dicampurkan dengan rasio 1:1. Hasil pencampuran antara *resin* dan *hardener* tersebut kemudian dilapisi diatas lapisan epoksi dengan menggunakan kuas.

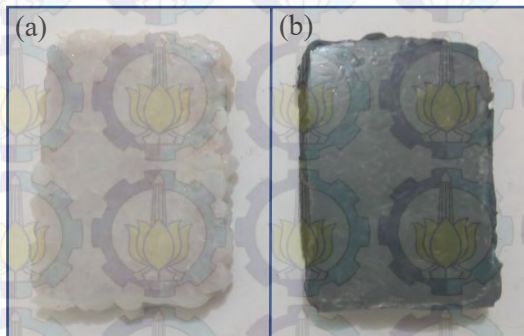


Gambar 3.16 Resin dan Hardener Lapisan Adhesive Dengan Rasio 1:1

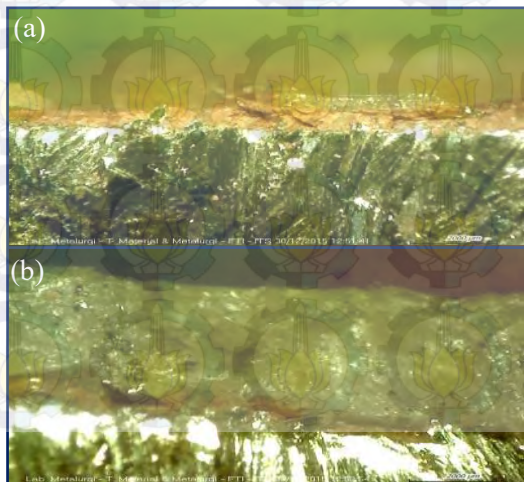
- c. Lapisan ketiga sebagai *top coat* menggunakan bahan *pellet polyethylene* dan *polypropylene*. Metode yang dipakai untuk pelapis ini adalah dengan meleburkan *pellet polyethylene* dan *polypropylene* diatas lapisan *adhesive* didalam *muffle furnace* dengan temperatur

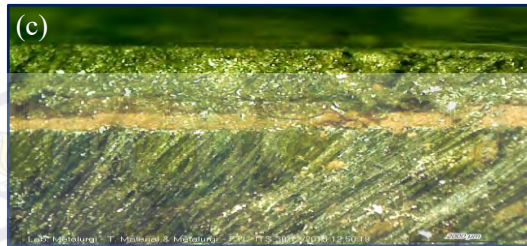


150°C selama kurun waktu 15 menit-20 menit. Sebelum dimasukan kedalam *furnace*, sampel ditutupi terlebih dahulu dengan akrilik. Setelah proses peleburan dalam jangka waktu tersebut selesai, sampel di keluarkan dari *furnace* dan langsung diberikan beban tepat diatas akrilik. Kemudian sampel yang telah terlapsi polyethylene ataupun polypropylene didinginkan selama 20 menit dan penutup akrilik dilepaskan.



Gambar 3.17 Hasil Lapisan *Top Coat* (a) *Polyethylene* (b) *Polypropylene*





Gambar 3.18 Visualisasi Antar Lapisan (a) Epoxy (b) 3 Layer Polyethylene (c) 3 Layer Polypropylene

3.5.2 Pengujian Sembur Kabut Garam

Pengujian sembur kabut garam (*salt spray test*) dilakukan untuk mengetahui ketahanan korosi dari sampel uji yang telah dilapisi sebelumnya pada lingkungan yang korosif. Pengujian ini dilakukan secara konsisten dan berkesinambungan didalam *salt spray chamber* selama 96 jam. Pengujian uji sembur kabut garam ini mengacu pada standar ASTM B117 (*Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*). Elektrolit yang dipakai dalam pengujian ini adalah NaCl dengan konsentrasi 3,5% dimana 35,24 gram serbuk NaCl akan dilarutkan kedalamn setiap 1000 mL aquades. Terdapat total 9 buah sampel uji yang akan diuji didalam pengujian ini yaitu terdiri dari 3 buah sampel uji dengan pelapis *epoxy*, 3 sampel uji dengan pelapis *polyethylene* dan 3 buah sampel uji dengan *polypropylene*. Didalam *salt spray chamber* sampel uji akan diletakan diatas penampang akrilik yang diposisikan membentuk sudut 30° terhadap bidang horizontal dan sejajar dengan arah aliran kabut garam. Setiap sampel uji diletakan sedemikian rupa sehingga kabut garam dapat menyentuh permukaan seluruh sampel uji. Didalam ruang tersebut larutan NaCl akan di semburkan dengan tekanan yang konstan. Adanya semburan kabur garam tersebut nantinya akan menimbulkan kerusakan pada permukaan lapisan sampel uji. Berdasarkan pengujian ini, metode yang digunakan untk mengetahui ketahanan korosinya yaitu dengan metode goresan (*scratch*).



3.5.2.1 Metode Scratch

Metode ini menggunakan data hasil pelebaran dari goresan yang telah diberikan pada permukaan sampel uji. Sebelum dimasukan kedalam *salt spray chamber*, spesimen diberi goresan terlebih dahulu dengan menggunakan *tool steel* dengan lebar ± 1 mm. Setelah pengujian dilakukan pelebaran dari goresan tersebut diukur dengan menggunakan *measuring microscope*. Hasil pelebaran yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan tingkatan ketahanan korosi berdasarkan standar ASTM D1654 (*Standard Test Method for Evaluation of Painted and Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*) Dimana **Tabel 3.4** menunjukan tingkatan nilai ketahan korosi berdasarkan pelebarannya.

Tabel 3.4 Tingkat Korosi Uji Sembur Kabut Garam pada Metode Scratch

<i>Rating Of Failure at Scribe</i>	
<i>Representative Mean Creepage From Scribe</i>	
<i>Millimeters</i>	<i>Rating Number</i>
<i>zero</i>	10
<i>Over 0 to 0.5</i>	9
<i>Over 0.5 to 1.0</i>	8
<i>Over 1.0 to 2.0</i>	7
<i>Over 2.0 to 3.0</i>	6
<i>Over 3.0 to 5.0</i>	5
<i>Over 5.0 to 7.0</i>	4
<i>Over 7.0 to 10</i>	3
<i>Over 10 to 13</i>	2
<i>Over 13 to 16</i>	1
<i>Over 16 to more</i>	0

**Tabel 3.5** Rancangan Rekap Data Pelebaran Goresan

Sampel Uji (Ketebalan)	Titik	Pelebaran (mm)	Rata-Rata (mm)	Rating
<i>Epoxy 1</i> (150 μm)	1			
	2			
	3			
	4			
<i>Epoxy 2</i> (200 μm)	1			
	2			
	3			
	4			
<i>Epoxy 3</i> (250 μm)	1			
	2			
	3			
	4			
<i>Polyethylene 1</i> (950 μm)	1			
	2			
	3			
	4			
<i>Polyethylene 2</i> (1000 μm)	1			
	2			
	3			
	4			
<i>Polyethylene 3</i> (1050 μm)	1			
	2			
	3			
	4			
<i>Polypropylene 1</i> (950 μm)	1			
	2			
	3			
	4			
<i>Polypropylene 2</i> (1000 μm)	1			
	2			
	3			



	4			
<i>Polypropylene 3</i> (1050 μm)	1			
	2			
	3			
	4			

Keterangan :

3 Layer Polyethylene

- Polyethylene 1 : Epoxy 150 μm + Adhesive 150 μm + Polyethylene 650 μm
- Polyethylene 2 : Epoxy 200 μm + Adhesive 150 μm + Polyethylene 650 μm
- Polyethylene 3 : Epoxy 250 μm + Adhesive 150 μm + Polyethylene 650 μm

3 Layer Polypropylene

- Polypropylene 1 : Epoxy 150 μm + Adhesive 150 μm + Polypropylene 650 μm
- Polypropylene 2 : Epoxy 200 μm + Adhesive 150 μm + Polypropylene 650 μm
- Polypropylene 3 : Epoxy 250 μm + Adhesive 150 μm + Polypropylene 650 μm

3.5.3 Pengujian Adhesi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan adhesi antar lapisan dan substrat. Ikatan antara pelapis dan permukaan substrat yang dilapisi merupakan salah satu faktor utama yang menjadi penentu berhasil atau tidaknya suatu pelapis dalam memberi perlindungan terhadap korosi. Pelapis yang memiliki nilai kekuatan adhesi yang baik dengan permukaan akan menahan dan mempertahankan integritasnya terhadap lingkungan yang korosif lebih lama jika dibandingkan dengan pelapis yang memiliki nilai kekuatan adhesi yang lebih rendah. Pada pengujian kali ini untuk mengetahui seberapa besar kekuatan adhesi digunakan metode pengujian *Pull Off Test*. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D454 (*Standard Test Method for*



Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers). Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tarik pada lapisan *coating*. Beban tarik tersebut diberikan dengan perantara *dolly* yang telah ditempelkan pada permukaan lapisan. Sampel-sampel uji dalam pengujian kekuatan adhesi ini diantaranya adalah sampel dengan variasi ketebalan yang berbeda, sampel yang telah mengalami uji sembur kabut garam selama 96 jam maupun sampel yang tidak mengalami pengujian sembur kabut garam dan serta sampel hasil pengujian ketahanan panas. Sebelum pengujian *pull-off test*, sampel uji terlebih dahulu ditempelkan *dolly* pada lapisan permukaannya. *Dolly* yang menempel dipermukaan akan dibiarkan mengeras untuk mengikat lapisan permukaan *coating*, minimal dalam kurun waktu 12 jam. Setelah jangka waktu tersebut, alat uji adhesi akan memberikan beban tarik pada *dolly* sehingga menyebabkan lapisan yang telah berikatan pada *dolly* tertarik dari substrat. Nilai kekuatan adhesinya dalam (Mpa) akan muncul pada alat uji kekuatan adhesi tersebut pada saat *dolly* tertarik dari permukaan lapisan.

Tabel 3.6 Rancangan Rekap Data Pengujian Kekuatan Adhesi

Sampel Uji	Ketebalan Coating (μm)	Kekuatan Adhesi (Mpa)	Kategori Failure
Epoxy	150		
	200		
	250		
Polyethylene	950		
	1000		
	1050		
Polypropylene	950		
	1000		
	1050		



3.5.4 Pengujian Ketahanan Panas

Pengujian ini dilakukan pada sampel uji dengan lapisan epoksi dan didasarkan dari metode pelapisan *3 layer coating* yang pada umumnya beroperasi pada temperatur yang cukup tinggi 80-120°C. Selain itu metode pelapisan 3LPE dan 3LPP pada penelitian ini yang menggunakan temperatur cukup tinggi dari *furnace* untuk melebur *pellet polyethylene* dan *polypropylene* sebagai *top coat*, memungkinkan kekuatan adhesi dari pelapis epoksi sebagai lapisan primer berkurang. Untuk mengetahui bahwa temperatur yang dipakai untuk melebur *polyethylene* dan *polypropylene* tidak mempengaruhi kekuatan adhesi lapisan epoksi sebagai pelapis primer, maka pengujian ini dilakukan dengan memasukan sampel uji dengan pelapis epoksi kedalam *furnace* dengan temperatur sebesar 150°C dalam kurun waktu 15 menit. Setelah pengujian dilakukan, sampel uji tersebut kemudian dianalisa kondisi permukaannya secara visual serta di uji kekuatan adhesinya dengan menggunakan metode *pull-off test*.

Tabel 3.7 Rancangan Rekap Data Pengujian Ketahanan Panas

Sampel Uji	Temperatur (°C)	Waktu Pemanasan	Kekuatan Adhesi (Mpa)
<i>Epoxy 1</i>	150°C	15 menit	
<i>Epoxy 2</i>			

3.5.5 Analisa Morfologi dengan *Stereo Microscope*

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana ikatan yang terjadi pada masing-masing lapisan dari kedua sampel uji dengan *top coat* yang berbeda yaitu pada lapisan *polyethylene* dan lapisan *polypropylene*. Analisa ini dilakukan secara visual menggunakan *stereo microscope* pada bagian *cross-sectional* sampel uji. Dengan perbesaran yang cukup besar (20x),



stereo mikroscope akan mampu memvisualisasikan morfologi antar lapisan *coating*. Adapun sebelum dilakukan pengujian ini, sampel uji dipotong terlebih dahulu sehingga bagian *cross-sectionalnya* dapat terlihat. Kemudian sampel uji diletakan tepat dibawah sinar yang dikeluarkan oleh stereo microscope untuk selanjutnya perbesaran serta fokusnya diatur pada daerah yang ingin di analisa. Hasil dari analisa ini akan menjadi data pendukung bagi pengujian-pengujian lainnya.



[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Ketebalan Lapisan

Data hasil ketebalan lapisan organik didapatkan dengan melakukan pengukuran ketebalan lapisan dengan menggunakan alat *Elcometer Dry Film Thickness Measurement*. Pengukuran dilakukan di empat titik lapisan organik, yaitu dibagian atas dan bawah pada sisi depan dan belakang lapisan. Hasil pengukuran ketebalan ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan

Sampel Uji	Ketebalan (μm)				Rata-rata ketebalan
	Sisi Depan		Sisi Belakang		
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	
Epoxy 1	150	150	145	147	148
Epoxy 2	202	207	192	200	200.25
Epoxy 3	250	251	246	250	249.25
Epoxy 4	200	197	202	194	198.25
Polyethylene 1	1165	1172	1005	997	1084.75
Polyethylene 2	942	987	895	903	931.75
Polyethylene 3	1157	1145	1080	1096	1119.5
Polyethylene 4	1189	1166	1082	1096	1125.25
Polypropylene 1	1079	1112	1005	1064	1048.25
Polypropylene 2	882	885	729	997	826.5
Polypropylene 3	877	997	860	810	912
Polypropylene 4	990	865	855	914	890.5

Pengukuran ketebalan lapisan dilakukan pada saat lapisan kering. Dari hasil pengukuran *Dry Film Thickness*, berdasarkan Tabel 4.1 diatas, didapat nilai ketebalan yang cukup jauh berbeda di tiap sisi sampel uji pada lapisan epoksi. Pada saat proses pelapisan, sisi depan pada sampel uji merupakan bagian terluar dari pipa sedangkan sisi belakang merupakan bagian dalam dari pipa baja API 5L. Nilai yang berbeda antara sisi depan dan



belakang pada sampel uji dikarenakan oleh proses *rolling* pada plat yang tidak sempurna, sehingga mengakibatkan bagian dalam dari pipa yang merupakan bagian belakang sampel uji tidak datar sepenuhnya. Hal ini menyebabkan proses pelapisan khususnya pada bagian belakang spesimen tidak merata dan homogen sehingga nilai ketebalannya cukup jauh berbeda dengan nilai ketebalan pada bagian depan sampel uji. Meskipun nilai ketebalannya berbeda, namun nilai rata-rata ketebalan dari pelapis epoksi masih masuk kedalam toleransi yaitu $\pm 5 \mu\text{m}$.

Berdasarkan data tersebut, didapat nilai dari ketebalan lapisan keseluruhan dengan *polyethylene* dan *polypropylene* sebagai *top coat*. Perbedaan ukuran *pellet polyethylene* dan *polypropylene*, menyebabkan nilai ketebalan dari keduanya juga berbeda. *Pellet polyethylene* yang memiliki ukuran yang lebih besar menghasilkan rata-rata ketebalan lapisan sebesar $865.31 \mu\text{m}$. Sedangkan *pellet polypropylene* yang memiliki ukuran lebih kecil menghasilkan rata-rata ketebalan lapisan sebesar $719.31 \mu\text{m}$.

4.2 Pengujian Adhesi

Pengujian adhesi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Pull-Off Adhesion Test*, dimana *dolly* yang telah merekat pada lapisan akan diberi beban berupa beban tarik. Besarnya beban tarik yang menyebabkan lapisan terlepas dari substratnya merupakan nilai dari kekuatan adhesi dari lapisan tersebut. Pada saat lapisan terlepas dari substrat, maka kerusakannya dapat dikategorikan sebagai *adhesion failure*. Sedangkan pada saat terdapat bagian dari lapisan yang terangkat, maka dapat dikategorikan sebagai *cohesive failure*. Hasil dari pengujian adhesi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Adhesi

Sampel Uji	Ketebalan Coating (μm)	Kekuatan Adhesi (Mpa)	Kategori Failure
Epoxy	150	5.08	Adhesive Failure
	200	4.84	Adhesive Failure



	250	4.08	<i>Adhesive Failure</i>
<i>Polyethylene</i>	950	2.08	<i>Cohesive Failure</i>
	1000	1.57	<i>Cohesive Failure</i>
	1050	1.51	<i>Cohesive Failure</i>
<i>Polypropylene</i>	950	3.01	<i>Adhesive Failure</i>
	1000	1.65	<i>Cohesive Failure</i>
	1050	1.22	<i>Glue Failure</i>

Berdasarkan Tabel 4.2 didapatkan hasil pengujian dengan metode *Pull-Off Adhesion Test* dari ketiga jenis lapisan. Terdapat tiga kategori *failure* dalam pengujian ini, yaitu *adhesive failure*, *cohesive failure* dan *glue failure*. Pada bahan material epoksi sebagai pelapis primer, dapat diketahui bahwa dari ketiga sampel uji dengan variasi ketebalan, keseluruhannya dikategorikan mengalami *adhesive failure*. *Adhesive failure* merupakan suatu mekanisme kegagalan yang terjadi akibat tidak cukup kuatnya gaya ikatan atau gaya tarik menarik antar partikel yang tidak sejenis ketika diberikan beban berupa beban tarik. Dalam hal ini adalah epoksi dengan substratnya, seperti pada Gambar 4.1.

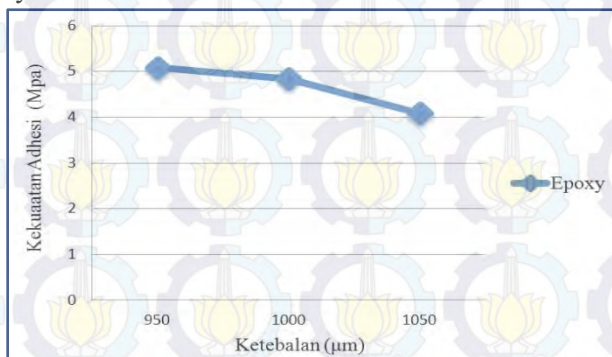


Gambar 4.1 Visualisasi Hasil *Pengujian Pull-Off Test* pada Lapisan Epoksi

Dalam pengujian ini, *adhesive failure* yang terjadi dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya adalah; kekuatan dari ikatan yang terjadi antara bahan pelapis dengan substrat, baik secara ikatan mekanik ataupun ikatan kimia. Jika pada suatu



material pelapis memiliki kekuatan ikatan adhesi yang lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan ikatan kohesinya, maka *adhesive failure* akan terjadi, seperti pada hasil pengujian ini. Selain itu faktor lainnya yang dapat mempengaruhi kekuatan adhesi adalah proses persiapan permukaan untuk menghilangkan berbagai macam kontaminan serta proses pada saat pengujiannya. Proses pengujian dengan metode *pull-off test* ini adalah dengan menempelkan *dolly* pada permukaan tepat satu hari sebelum pengujian dilakukan, mengacu pada standard ASTM D-4541. Melalui hasil pengujian tersebut didapatkan data bahwa ketebalan khususnya pada lapisan epoksi sebagai pelapis primer akan mempengaruhi kekuatan adhesinya. Dalam hal ini melalui Gambar 4.2 mengenai grafik nilai *adhesion Test*, dapat diketahui bahwa semakin tebal lapisan, maka semakin rendah nilai adhesinya.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian *Pull-Off Test* dari Pelapis Epoksi

Pengujian *Pull-Off Test* yang dilakukan pada material *polyethylene* dan *polypropylene*, menunjukkan bahwa dari hasil yang diperoleh terdapat masing-masing satu sampel uji *polypropylene* yang mengalami *adhesive failure* dan *glue failure*, sedangkan sampel uji lainnya dikategorikan sebagai *cohesive failure*. *Cohesive Failure* dapat terjadi karena dipengaruhi oleh



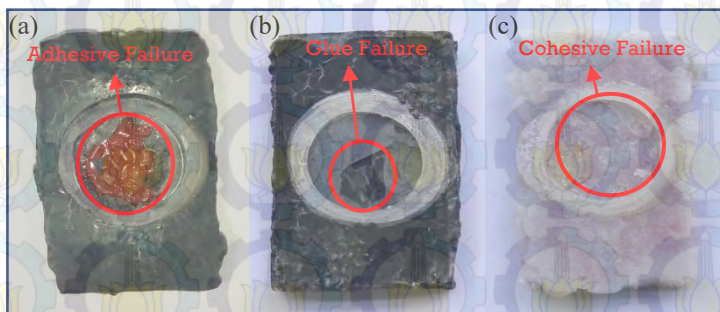
kerapatan dan jarak partikel di dalam bahan pelapis. Hal ini juga menandakan bahwa ikatan *crosslinking* pada partikel yang terdapat dalam bahan pelapis lebih lemah jika dibandingkan dengan ikatan yang terjadi antara bahan pelapis dengan substrat. Selain itu *cohesive failure* yang terjadi pada pengujian ini dapat disebabkan karena adanya mekanisme *mechanical interlocking* dikarenakan proses persiapan permukaan yang diterapkan. Dimana proses yang dilakukan dalam pengujian ini adalah dengan perlakuan blasting menggunakan *aluminum oxide* dengan ukuran 24 mesh yang akan menghasilkan kekerasan permukaan sebesar 64 mikron dengan tingkat kebersihan SA 2^{1/2}. Kekasaran permukaan yang baik akan menghasilkan celah yang dapat dimanfaatkan oleh bahan pelapis untuk melakukan penetrasi sehingga dapat mengikat substrat dengan baik. Berdasarkan data pada Tabel 4.2, sampel uji yang mengalami *cohesive failure* khususnya bahan *polyethylen* sebagai *top coat* dipengaruhi oleh ketebalan dari bahan pelapis tersebut. Semakin tebal lapisannya, maka nilai kekuatan adhesinya akan menurun. Sedangkan pada sampel uji dengan bahan *polypropylen*, terdapatnya perbedaan jenis *failure* yang terjadi juga menyebabkan variasi nilai kekuatan adhesinya. Dimana nilai yang terbesar dihasilkan pada saat sampel mengalami *adhesive failure* yaitu sebesar 3.01 Mpa dan yang terkecil pada saat sampel uji mengalami kegagalan pada lem (*glue failure*) yaitu sebesar 1.22 Mpa. Perbandingan kekuatan adhesi antara bahan *polyethylene* dan *polypropylene* dapat dilihat di dalam grafik pada Gambar 4.4

Berdasarkan data yang dihasilkan di tiga sampel uji pada bahan *polypropylen*, dapat diketahui bahwa sampel uji *polypropylene* yang mengalami *adhesive failure* memiliki nilai adhesi sebesar 3.01 Mpa. Fenomena yang terjadi pada sampel uji ini dapat disebabkan oleh kurang kuatnya ikatan yang terjadi antara *polypropylene* sebagai *top coat* dengan lapisan *adhesivenya*. Pada proses pelapisan lapisan kedua dengan bahan *adhesive*, metode pelapisan yang digunakan adalah dengan metode *hand lay up*, dimana bahan *adhesive* yang merupakan

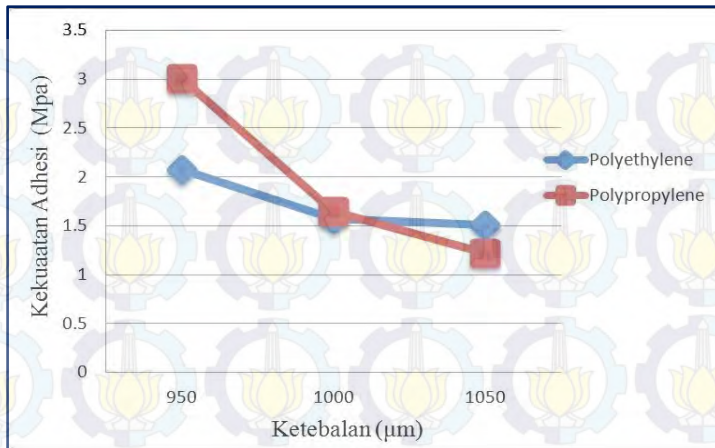


campuran antara resin dan *hardener* dicampurkan dengan rasio 1:1 dan dioleskan diatas lapisan epoksi dengan menggunakan kuas. Adanya kemungkinan tidak meratanya lapisan *adhesive* pada saat proses pelapisan, dapat diindikasikan sebagai faktor penyebab lemahnya ikatan tersebut dengan *polypropylene*. Selain itu faktor lainnya adalah tidak meratanya distribusi beban yang diberikan pada saat proses pelapisan lapisan *polypropylene* berlangsung.

Kemudian sampel uji *polypropylene* lainnya yang mengalami kegagalan pada lem (*glue failure*) dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor pertama adalah proses preparasi metode *pull-off test*, baik dalam proses pencampuran lem dan proses penempelan *dolly*. Pencampuran rasio lem yang tidak tepat dapat mengakibatkan daya rekat lem menjadi berkurang serta proses pengeringannya menjadi lebih lama dari waktu normal. Daya rekat lem yang tidak cukup baik mengakibatkan pada saat pengujian *pull-off test* dilakukan, beban tarik yang diberikan hanya mampu menarik lapisan lem itu sendiri. Faktor lainnya adalah permukaan sampel uji yang tidak rata sepenuhnya sehingga lem tidak dapat merekat dengan baik. Permukaan sampel uji yang tidak rata sehingga mengalami kegagalan pada lem dapat dilihat pada Gambar 4.3, beserta Visualisasi berbagai macam *failure* yang terjadi pada pengujian kali ini.



Gambar 4.3 Visualisasi *Failure* dari Hasil Pengujian *Pull-Off Test*. (a) *Adhesive* (b) *Cohesive* (c) *Glue Failure*



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian *Pull-Off Test* dari Pelapis *Polyethylene* dan *Polypropylene*

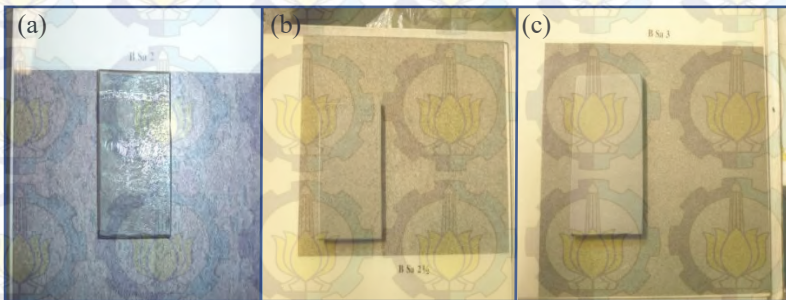
4.2.1 Pengaruh Preparasi Permukaan Terhadap Kekuatan Adhesi

Preparasi pada permukaan merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam menentukan keberhasilan aplikasi *coating*. Dalam pengujian ini terdapat dua kategori dalam melakukan preparasi permukaan, yaitu *cleanliness* yang bertujuan untuk memberikan informasi visual mengenai banyaknya kontaminan yang tertinggal pada permukaan substrat serta *roughness* yang bertujuan untuk memberikan profil kekasaran permukaan pada substrat sehingga pelapis dapat melekat dengan baik pada substrat sampel uji.

Terdapat tiga variasi preparasi permukaan yang umum dilakukan sebelum aplikasi *coating* yang mengacu pada standar yang dikeluarkan oleh *Steel Structure Painting Council* (SSPC), yaitu standar SSPC SP-6 yang setara dengan tingkat kebersihan SA 2, SSPC SP-10 yang setara dengan tingkat kebersihan SA 2^{1/2}, dan SSPC SP-5 yang setara dengan tingkat kebersihan SA 3. Ketiga standar tersebut akan menghasilkan permukaan sampel uji



yang bersih dari minyak, *mill scale*, debu, karat atau produk korosi serta kontaminan lainnya. Semakin tinggi standar kebersihan yang dipakai maka akan semakin bersih permukaannya. Dalam hal ini secara visual SA 2 akan menghasilkan kebersihan permukaan dengan kategori *commercial blast cleaning*, SA 2^{1/2} *near white metal cleaning* dan SA 3 *white metal cleaning*, seperti pada Gambar 4.5 yang menunjukkan visualisasi dari ketiga hasil standar persiapan permukaan.



Gambar 4.5 Visualisasi Hasil Preparasi Permukaan. (a) SA 2 (b) SA 2^{1/2} (c) SA 3

Ketiga tingkatan *cleanliness* tersebut akan memberikan nilai *roughness* yang berbeda sehingga nilai kekuatan adhesi yang timbul juga akan berbeda. Semakin tinggi tingkatan *cleanlinessnya* maka partikel *abrasive* yang dipakai untuk proses preparasi akan semakin besar sehingga menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan partikel yang lebih kecil. Pada permukaan sampel uji yang semakin kasar, maka pori/celah yang ada pada permukaan substrat semakin dalam sehingga saat proses pelapisan, bahan pelapis dapat masuk atau melakukan penetrasi kedalam celah tersebut dan mengikat substrat dengan lebih baik, seperti pada Gambar 4.6. Hal tersebut menyebabkan terjadinya *mechanical interlocking* antara substrat dengan bahan pelapis sehingga nilai kekuatan adhesinya akan meningkat. Namun saat kekasaran permukaannya semakin kecil,



pelapis tidak akan mampu berpenetrasi dengan baik kedalam substrat, sehingga kontak atau ikatan antara substrat dengan pelapis akan menjadi berkurang. Hal tersebut dapat menurunkan nilai adhesinya serta dapat menimbulkan *void* antara substrat dengan pelapis dimana udara dapat terjebak didalamnya.



Gambar 4.6 *Mechanical Interlocking* pada Substrat

Selain *mechanical interlocking*, untuk menghasilkan kekuatan adhesi yang baik antara substrat dengan pelapis, maka dibutuhkan juga pembasahan (*wetting*) oleh pelapis pada permukaan substrat. *Wetting* akan terjadi saat tegangan permukaan liquid (pelapis) lebih kecil dibandingkan dengan tegangan permukaan substrat. Umumnya permukaan logam memiliki tegangan permukaan yang tinggi sehingga pelapis dapat membasahi permukaan substrat. Namun pada saat permukaan substrat tidak bersih dan terdapat kontaminan, maka proses *wetting* akan terganggu. Dikarenakan kontaminan memiliki tegangan permukaan yang rendah, menyebabkan proses *wetting* pada substrat akan lebih sulit. Hal tersebut juga dapat mempengaruhi nilai adhesi antara pelapis dengan substrat.

4.2.2 Pengaruh Pengujian Ketahanan Panas Terhadap Kekuatan Adhesi

Pengujian ini dilakukan karena pada proses pelapisan lapisan *polyethylene* dan *polypropylene*, pelapis epoksi sebagai



primer coat akan dimasukan bersama-sama dengan lapisan *adhesive* (pelapis perantara) dan serta *pellet polyethylene* dan *polypropylene (top coat)* kedalam *muffle furnace* dengan temperatur 150°C selama 15 menit. Angka temperatur tersebut ditentukan berdasarkan *melting point* dari *polyethylene* dan *polypropylene* yaitu sebesar $125-135^{\circ}\text{C}$ dan $140-176^{\circ}\text{C}$ serta temperatur degradasinya sebesar 250°C dan 328°C . (Wypych, 2012). Pengujian ketahanan panas yang telah dilakukan didalam *muffle furnace* dengan temperatur 150°C selama 15 menit, menunjukan bahwa sampel uji tidak mengalami kerusakan dan tidak ada pengaruh yang terjadi pada lapisan epoksi dari segi kekuatan adhesinya. Tabel 4.8. menunjukan data hasil uji adhesi dengan metode *pull-off test* setelah dilakukan uji ketahanan, dimana nilai kekuatan adhesinya tidak jauh berbeda dengan rata-rata kekuatan adhesi pada sampel yang tidak diberi pengujian ketahanan panas.

Tabel 4.3 Data Hasil Kekuatan Adhesi Pada Sampel Uji Ketahanan Panas

Sampel Uji	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Waktu Pemanasan	Kekuatan Adhesi (Mpa)
<i>Epoxy 1</i>	150°C	15 menit	4.59
<i>Epoxy 2</i>			4.71

Parameter dalam pengujian panas ini menurut literatur ialah terbentuknya *pin hole* pada permukaan lapisan *coating* serta adanya pengelupasan lapisan dari substrat. *Pin hole* dapat terjadi akibat adanya gas ataupun uap air yang terperangkap pada permukaan substrat baja pada saat proses aplikasi *coating*. Gas-gas tersebut dapat berasal dari bahan-bahan yang mudah menguap, seperti *solvent*. Sedangkan pengelupasan lapisan dapat



disebabkan preparasi permukaan yang kurang sempurna ataupun kurang baiknya proses pengeringan dari lapisan *coating (curing)*. Dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama, pelapis epoksi memiliki ketahanan panas yang baik terhadap temperatur tersebut. Saat panas diberikan, pemaparan panas pada lapisan permukaan pelapis akan menyebabkan molekul-molekul yang ada didalam akan ikut meningkat. Sehingga seiring dengan bertambahnya waktu pemaparan panas, ikatan yang ada didalam pelapis epoksi (kohesi) maupun ikatan antara pelapis dengan substrat (adhesi) akan menjadi lemah. Dikarenakan pada pengujian ini tidak ada lapisan epoksi yang rusak dan tidak ada perubahan yang signifikan terhadap nilai kekuatan adhesinya, maka temperatur 150°C dengan waktu pemanasan 15 menit, merupakan temperatur dan waktu yang masih dapat diaplikasikan pada pelapis epoksi yang digunakan pada penelitian ini. Hasil pengujian ini juga sesuai dengan kondisi di lapangan dimana pada umumnya pipa baja dengan *top coat polyethylene* dapat beroperasi sampai pada temperatur 80°C dan dengan *top coat polypropylene* dapat beroperasi dengan temperatur mencapai 120°C.

4.3 Pengujian Sembur Kabut Garam

Pengujian sembur kabut garam dilakukan didalam *salt spray chamber* dengan menyemburkan larutan NaCl 3.5% yang memiliki nilai pH 7 dalam jangka waktu selama 96 jam. Sampel uji diletakan diatas penampang akrilik yang diposisikan dengan kemiringan 30 derajat. Preparasi dan proses pengujian ini mengacu pada standar ASTM B 117-03. Data yang didapatkan melalui pengujian ini ialah pelebaran daerah goresan (*scratch*) pada permukaan lapisan, dimana goresan awal yang diberikan adalah sebesar 1 mm. Terdapat dua garis goresan yang saling berpotongan ditengah dan 4 titik pengukuran pelebaran pada masing-masing sampel uji. Pengukuran pelebaran goresan sebelum dan setelah pengujian dilakukan dengan menggunakan *stereo measuring microscope*. Evaluasi dan penentuan nilai rating akibat pelebaran goresan yang disebabkan oleh adanya lapisan



yang rusak mengacu pada standar ASTM D-1654. Dimana semakin kecil pelebarannya maka semakin tinggi nilai ratingnya dan nilai rating tertinggi adalah 10 yaitu pada saat goresan tidak mengalami pelebaran.

Tabel 4.4 Tingkat Korosi Uji Sembur Kabut Garam pada Metode *Scratch*

<i>Rating Of Failure at Scribe</i>	
<i>Representative Mean Creepage From Scribe</i>	
<i>Millimeters</i>	<i>Rating Number</i>
<i>zero</i>	10
<i>Over 0 to 0.5</i>	9
<i>Over 0.5 to 1.0</i>	8
<i>Over 1.0 to 2.0</i>	7
<i>Over 2.0 to 3.0</i>	6
<i>Over 3.0 to 5.0</i>	5
<i>Over 5.0 to 7.0</i>	4
<i>Over 7.0 to 10</i>	3
<i>Over 10 to 13</i>	2
<i>Over 13 to 16</i>	1
<i>Over 16 to more</i>	0

Tabel 4.5 Data Pelebaran dan Rating Sampel Uji Sembur Kabut Garam

Sampel Uji (Ketebalan)	Titik	Pelebaran (mm)	Rata-Rata (mm)	Rating
<i>Epoxy 1 (150 μm)</i>	1	0.42727	0.46473	9
	2	0.50634		
	3	0.45760		
	4	0.46772		
<i>Epoxy 2 (200 μm)</i>	1	0.37736	0.40094	9
	2	0.35849		
	3	0.41509		
	4	0.45283		

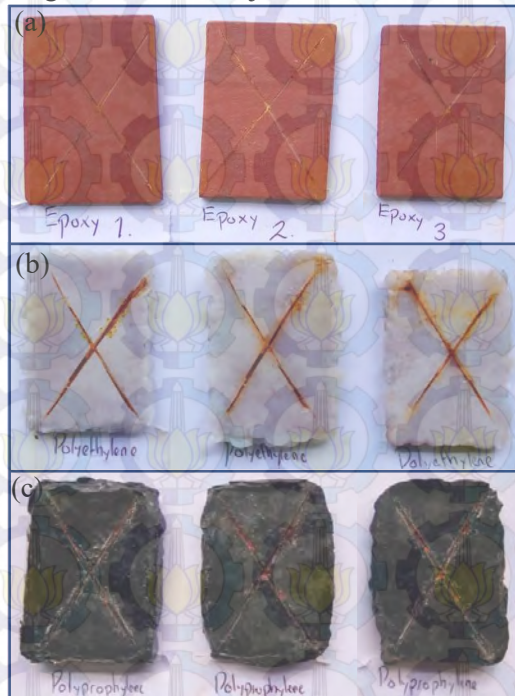


<i>Epoxy 3</i> (250 μm)	1	0.26415	0.33538	9
	2	0.39635		
	3	0.35862		
	4	0.32242		
<i>Polyethylene 1</i> (950 μm)	1	0.15677	0.17606	9
	2	0.13223		
	3	0.18883		
	4	0.22642		
<i>Polyethylene 2</i> (1000 μm)	1	0.07547	0.11513	9
	2	0.08302		
	3	0.03774		
	4	0.26429		
<i>Polyethylene 3</i> (1050 μm)	1	0.18883	0.10719	9
	2	0.05660		
	3	0.12656		
	4	0.05677		
<i>Polypropylene 1</i> (950 μm)	1	0.08842	0.12099	9
	2	0.11227		
	3	0.09275		
	4	0.19054		
<i>Polypropylene 2</i> (1000 μm)	1	0.09472	0.10691	9
	2	0.09434		
	3	0.13737		
	4	0.10122		
<i>Polypropylene 3</i> (1050 μm)	1	0.07547	0.07264	9
	2	0.09450		
	3	0.03191		
	4	0.08868		

Pengujian sembur kabut garam dengan NaCl 3.5% dilakukan untuk mendapatkan nilai ketahanan korosi dari bahan pelapis pada substrat baja. *Salt spray chamber* yang dipakai pada pengujian ini akan memberikan situasi dan kondisi dari lingkungan yang korosif serta memiliki kelembaban yang tinggi



(humiditas tinggi) secara terus menerus dalam kurun waktu 96 jam. Pengaruh dari semburan kabut garam akan menimbulkan kerusakan yang lebih cepat pada benda uji. Goresan pada lapisan hingga permukaan substrat yang telah dibuat sebelumnya berfungsi sebagai tempat inisiasi korosi. Dimana inisiasi dari korosi akan terjadi dibawah sisi lapisan yang rusak maupun pada bagian sisi dekat lapisan yang rusak. Umumnya daerah inisiasi korosi terjadi pada bagian bawah lapisan, hal ini dikarenakan terkonsentrasinya larutan akibat pengaruh grafitasi. Gambar 4.7 menunjukkan visualisasi dari sampel uji hasil dari pengujian sembur kabut garam selama 96 jam.



Gambar 4.7 Permukaan Sampel Setelah Pengujian Sembur Kabut Garam Selama 96 jam. (a) *Epoxy* (b) *Polyethylene* (c) *Polypropylene*



Adanya degradasi (peristiwa korosi) pada permukaan baja akibat lingkungan yang korosif, akan mempengaruhi pelebaran goresan pada sampel uji. Permasalahan proteksi terhadap korosi pada baja oleh lapisan pelindung akan jarang terjadi apabila pelapis memiliki kekuatan ikatan antar permukaan (adhesi yang baik dengan substrat serta memiliki lapisan yang padat dan merata (*good film building properties*), sehingga pelapis dapat berfungsi dengan baik sebagai penghalang (*barrier*) untuk mengurangi kemungkinan molekul-molekul seperti air dan udara untuk berpenetrasi dan terserap kedalam daerah *interface*. Mekanisme *barrier* ini sangat dipengaruhi oleh permeabilitas dari pelapis terhadap air, oksigen dan ion-ion lainnya. Berdasarkan sampel uji yang tidak diberikan scratch, secara pengamatan visual dapat diketahui bahwa tidak ada tanda-tanda kerusakan akibat korosi pada seluruh permukaan sampel uji. Walaupun secara pengamatan menggunakan *microscope stereo* diketahui bahwa adanya inisiasi *blister* terutama di permukaan bagian depan lapisan yang terkespos langsung dengan lingkungan, hal ini akan dibahas di dalam sub bab 4.3.2. Hal tersebut menandakan bahwa bahan pelapis berfungsi dengan baik dalam melindungi substrat baja dari lingkungan yang korosif. Dimana selain menyediakan perlindungan dari terjadinya kegagalan, juga dapat memperpanjang umur (*lifetime*) dari material tersebut.

Pada sampel uji yang diberikan goresan, goresan pada permukaan pelapis menyebabkan substrat baja terekspos langsung dengan lingkungan korosif yang dihasilkan melalui *salt spray chamber*. Sehingga molekul-molekul seperti air dan oksigen yang dapat menginisiasi korosi dapat dengan mudah melakukan penetrasi kedalam daerah *interface* antara pelapis dengan substrat. Adanya molekul-molekul tersebut pada lapisan *interface* akan mengganggu dan perlahan menurunkan kekuatan ikatan (adhesi) antara pelapis dengan substrat. Turunnya kekuatan adhesi pada daerah *interface* yang bersinggungan langsung dengan daerah terbuka (terekspose langsung dengan lingkungan) akibat adanya goresan, akan menyebabkan terjadinya mekanisme *undercutting*.



Undercutting sendiri dapat terjadi pada perbatasan daerah tersebut dikarenakan adanya polarisasi katodik. Reaksi korosi akan berawal dari daerah permukaan logam yang terkespos dengan lingkungan, dimana air dan oksigen akan masuk dan mengoksidasi ion-ion Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} , sehingga daerah tersebut akan terpolarisasi secara anodik. Oksigen dan air yang diperlukan untuk depolarisasi kemudian diperoleh dari daerah yang berdekatan yaitu dari penyerapan melalui lapisan *coating* ataupun kontaminan yang terperangkap sehingga daerah tersebut akan menjadi anodik dan mengalami korosi dibawah permukaan lapisan (*underrusting*). Mekanisme tersebut nantinya akan merambat mengurangi kekuatan adhesi serta merusak lapisan disekitarnya dan menginisiasi terjadinya *blistering*, seiring berjalannya waktu akan menyebabkan kegagalan *coating* berupa delaminasi.

Berdasarkan mekanisme korosi baik yang terjadi dipermukaan baja yang tergores maupun pada permukaan baja didaerah *interface*, hilangnya berat pada baja akibat mekanisme tersebut menghasilkan pelebaran goresan yang tidak jauh berbeda pada masing-masing sampel uji. Berdasarkan data pada Tabel 4.4, dapat diketahui bahwa keseluruhan sampel uji memiliki rata-rata pelebaran berkisar di angka 0 sampai 0.5. Hal tersebut menandakan bahwa keseluruhan bahan pelapis dikategorikan memiliki nilai rating 9, sesuai dengan standard ASTM D-1654 pada Tabel 4.3. Dari empat titik pengukuran dimasing-masing sampel uji, hampir keseluruhan titik memiliki nilai pelebaran kurang dari 0.5, kecuali di satu titik pada bahan pelapis epoksi dengan ketebalan 150 μm yang memiliki nilai pelebaran sebesar 0.50634 mm. Pada pelapis epoksi rata-rata pelebaran terbesar dimiliki oleh pelapis yang memiliki ketebalan 150 μm dengan nilai pelebaran sebesar 0.46473mm dan pelebaran terkecil adalah pelapis dengan ketebalan 250 μm dengan nilai 0.33538 μm . Sedangkan pada bahan pelapis *polyethylene* dan *polypropylene*, nilai pelebarannya jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai pelebaran pada bahan pelapis epoksi. Dimana rata-rata pelebaran

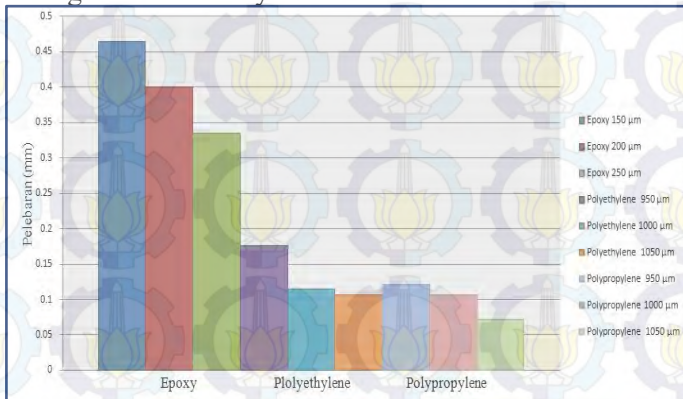


terbesar dari pelapis *polyethylene* dengan ketebalan 950 μm , memiliki nilai pelebaran sebesar 0.17606 mm dan rata-rata nilai pelebaran terbesar dari bahan pelapis *polypropylene* sebesar 0.12099 mm. Hal ini menandakan bahwa pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* memiliki ketahanan terhadap rusaknya lapisan akibat lingkungan yang korosif lebih besar jika dibandingkan dengan lapisan epoksi. Selain itu jika dibandingkan rata-rata pelebaran pelapis *polyethylene* dengan bahan pelapis *polypropylene* dengan ketebalan yang sama, dapat diketahui bahwa pelapis *polypropylene* memiliki tingkat ketahanan terhadap lingkungan korosif yang lebih baik, dimana rata-rata pelebaran pelapis *polypropylene* memiliki nilai pelebaran yang lebih kecil dibandingkan dengan *polyethylene*. Bahkan nilai rata-rata pelebaran pada bahan *polypropylene* dengan ketebalan 1050 μm , memiliki nilai pelebaran sebesar 0.07264 mm. Dimana hampir tidak ada perubahan nilai pelebaran yang terjadi, menandakan hampir tidak adanya lapisan film yang terkelupas dari lapisannya.

Berdasarkan data hasil pengujian sembur kabut garam, dapat diketahui bahwa ketebalan dari bahan pelapis akan mempengaruhi pelebaran pada goresan yang diberikan. Semakin tebal bahan pelapis maka akan semakin kecil nilai pelebarannya. Kerusakan pada lapisan umumnya terjadi pada bahan pelapis dengan ketebalan yang lebih tipis. Hal ini terjadi dikarenakan adanya pengaruh kecepatan masuknya molekul-molekul seperti air dan oksigen menuju kedalam daerah *interface*. Semakin tipis tebal lapisan, maka semakin cepat molekul-molekul tersebut untuk melakukan penetrasi melalui celah yang terjadi akibat goresan yang diberikan, sehingga dapat dengan mudah menjangkau daerah *interface* bahan pelapis dengan substrat. Hal tersebut sesuai dengan nilai rata-rata pelebaran pada pelapis epoksi, dimana nilai pelebarannya menjadi berkurang seiring dengan bertambahnya ketebalan. Sesuai dengan grafik pada Gambar 4.8, hal tersebut juga didukung dengan data nilai



pelebaran pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* yang semakin kecil dengan bertambahnya ketebalan.



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Ketebalan Pelapis terhadap Pelebaran Goresan

4.3.1 Pengaruh Uji Sembur Kabut Garam Terhadap Kekuatan Adhesi

Untuk mengetahui pengaruh uji sembur kabut garam terhadap kekuatan adhesi dari masing-masing sampel uji, pengujian *pull-off test* dilakukan di kedua sisi permukaan masing-masing sampel uji yang memiliki ketebalan yaitu; epoksi 200 μm serta *polypropylene* dan *polypropylene* 1000 μm.

Tabel 4.6 Data Pengujian *Pull-Off Test* Pada Spesimen Uji Sembur Kabur Garam

Sampel Uji	Kekuatan Adhesi (Mpa)		Rata-Rata	Kategori
	Depan	Belakang		
<i>Epoxy</i> (200 μm)	4.52	4.23	4.375	Adhesive
<i>Polyethylene</i> (1000 μm)	1.55	1.47	1.47	Cohesive
<i>Polypropylene</i> (1000 μm)	2.28	1.94	1.94	Cohesive



Berdasarkan Tabel 4.5, dapat diketahui bahwa pengujian sembur kabut garam tidak terlalu mempengaruhi kekuatan adhesi dari sampel uji. Dari dua titik pengujian di masing-masing sampel uji, rata-rata nilai kekuatan adhesinya tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan nilai adhesi pada saat sampel tidak diuji dengan pengujian sembur kabut garam. Dimana rata-rata nilai kekuatan adhesi pada pelapis epoksi setelah uji sembur kabut garam adalah sebesar 4.375 Mpa. Sedangkan nilai rata-rata kekuatan adhesi pada pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* masing-masing adalah sebesar 1.47 dan 1.94 Mpa.

Kekuatan adhesi pada sampel uji sangat dipengaruhi oleh reaksi yang terjadi pada daerah *interface* antara pelapis dengan substrat. Permukaan pelapis yang terekspos terus menerus oleh kondisi lingkungan yang korosif didalam *salt spray chamber*, memungkinkan berbagai macam kontaminan seperti uap air, oksigen dan zat-zat lainnya, akan masuk ke dalam lapisan *interface*. Dimana hal tersebut merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan ikatan antara pelapis dengan substrat perlahan rusak seiring berjalannya waktu, sehingga dapat menyebabkan turunnya nilai adhesi. Tidak adanya perubahan yang signifikan dari hasil pengujian *pull-off test* pada sampel uji sembur kabut garam dapat mengindikasikan bahwa kontaminan dan berbagai molekul-molekul air tidak dapat melakukan penetrasi ke dalam bagian *interface* dari pelapis dengan substrat. Hal ini disebabkan oleh cukup kuatnya kekuatan ikatan antara pelapis dengan substrat yang dihasilkan melalui persiapan permukaan yang baik. Serta adanya pigmen pada lapisan epoksi yang berfungsi sebagai elemen penutup (*opacity*) serta tahanannya terhadap uap air (*moisture resistance*) yang baik.

4.3.2 Pengaruh Uji Sembur Kabut Garam Terhadap *Blister* Pada Permukaan Epoksi

Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan khususnya pada lapisan epoksi dapat diketahui bahwa terdapat mekanisme *blistering* pada permukaan lapisan. *Blistering* dapat



terjadi karena diakibatkan adanya molekul-molekul air yang berhasil masuk kedalam pori-pori lapisan dan terperangkap sehingga menyebabkan terbentuknya suatu pembengkakan dan akhirnya membentuk gelembung (*blister*). Fenomena ini dapat terjadi dikarenakan pada umumnya, semua bahan pelapis organik bersifat *permeable* maupun *semi-permeable*. Dimana molekul-molekul yang memiliki ukuran sangat kecil seperti air dan oksigen dapat melakukan penetrasi kedalam lapisan tersebut. Sifat permeabilitas pada masing-masing bahan pelapis akan mempengaruhi laju molekul seperti air untuk dapat masuk kedalam daerah *interface*. Pada pengujian ini untuk mengetahui besarnya kerusakan yang dihasilkan oleh adanya *blister*, dapat dilakukan dengan mengukur tingkat *blister* yang terjadi dengan mengacu pada standar ASTM D714 “*Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints*”. Dimana tingkatan ukuran *blister* berada diantara skala nilai terkecil yaitu nol, hingga skala nilai 10 yang menandakan tidak adanya *blister* pada permukaan.



Gambar 4.9 *Blistering* yang Terjadi Pada Permukaan Epoksi.
(a) Sisi Depan Epoksi (200 μ m) (b) Sisi Belakang Epoksi (200 μ m)

Berdasarkan hasil evaluasi secara visual, seperti pada Gambar 4.9, terdapat perbedaan kondisi di kedua sisi permukaan pada sampel. Pada bagian sisi depan sampel uji, terdapat *blistering* yang tersebar cukup merata pada permukaan. Hal tersebut sangat berlawanan dengan bagian belakang dari sampel

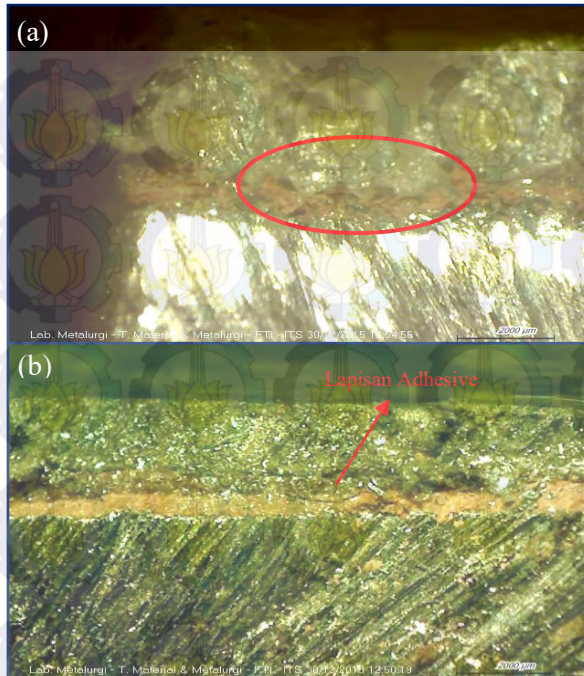


uji, dimana hampir tidak terdapat mekanisme *blistering* yang terjadi. Hal ini disebabkan bagian sisi depan dari sampel uji merupakan bagian yang terekspos langsung dengan lingkungan korosif di dalam *salt spray chamber*. Sedangkan sisi belakang sampel uji, merupakan bagian yang terisolasi akibat kontak langsung dengan penampang akrilik. Permukaan epoksi yang merupakan sisi depan sampel uji, yang kontak langsung dengan lingkungan, memungkinkan molekul air yang memiliki ukuran partikel sangat kecil akan berusaha melakukan penetrasi menembus lapisan *coating*. Adanya larutan garam (NaCl) dari hasil semburan di dalam *chamber* yang menempel pada permukaan lapisan akan menyebabkan sel osmosis terjadi. Sel osmosis terusun atas membran *semipermeable* (pelapis epoksi) yang akan memisahkan larutan konsentrasi tinggi dengan larutan yang memiliki konsentrasi rendah. Hal ini menyebabkan lebih banyak air akan mengalami permeasi kedalam lapisan sehingga akhirnya terperangkap dan membentuk *blister*.

Blistering yang terjadi pada lapisan epoksi dapat dikategorikan kedalam *Blister Size No. 6* dengan persebarannya dalam kategori berkisar antara jarang (*few*) dan sedang (*medium*). Ukuran blister yang cukup kecil menandakan bahwa kadar air yang dapat terperangkap sedikit dan tidak terkonsentrasi disatu tempat. Hal ini disebabkan karena kekuatan adhesi antara lapisan epoksi dengan substrat yang cukup baik.

4.4 Morfologi Pelapis 3 Layer Polyethylene dan Polypropylene (3LPE & 3LPP) Coating

Pada analisa ini, sampel uji dengan pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* dipotong terlebih dahulu dengan ukuran 10 x 10 mm, untuk selanjutnya dianalisa secara visual dengan menggunakan *stereo microscope*. Bagian yang dianalisa pada sampel tersebut adalah pada bagian *cross-sectional* sampel uji. Melalui bagian *cross-sectional* tersebut, lapisan antar *coating* akan terlihat sehingga memudahkan proses analisa morfologinya.

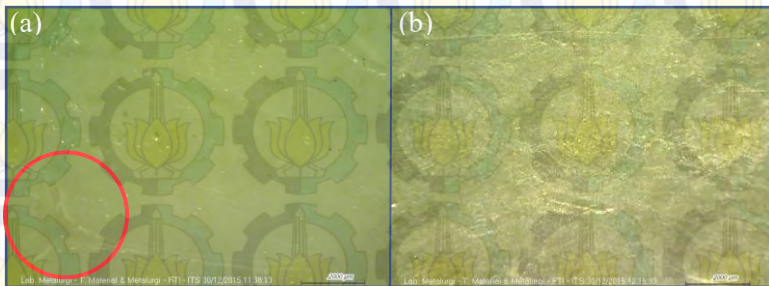


Gambar 4.10 Visualiasi Pelapis 3 Layer Polyethylene and Propylene Coating. (a) Polyethylene (b) Polypropylene

Berdasarkan Gambar 4.10 yang didapatkan dengan menggunakan *Stereo Microscope* dengan perbesaran 20x, dapat diketahui visualisasi dari setiap lapisan dengan metode 3LPE dan 3LPP. Jika dilihat pada gambar (a) (*3LPE coating*), lapisan epoksi sebagai lapisan primer secara visual memiliki ikatan yang baik dengan substrat. Permukaan substrat yang kasar yang dihasilkan dari proses preparasi permukaan dengan standar kebersihan SA $2^{1/2}$, menghasilkan suatu mekanisme *mechanical interlocking* yang baik dimana celah yang dihasilkan dari permukaan yang kasar akan memberi akses lebih pada epoksi untuk melakukan penetrasi lebih dalam, sehingga dapat mengikat substrat dengan baik. Hal tersebut juga terjadi pada pada gambar (b) (*3LPP*



Coating), dimana epoksi pada permukaan substrat secara visual mengikat substrat secara merata. Sedangkan pada lapisan *adhesive* yang merupakan lapisan kedua, yang berfungsi sebagai lapisan perantara. Dimana lapisan tersebut harus mampu berikatan dengan baik dengan epoksi sebagai lapisan primer dan *polyethylene* atau *polypropylene* sebagai lapisan teratas (*top coat*). Berdasarkan gambar (a) dapat dilihat bahwa ikatan antara lapisan *adhesive* dengan lapisan *polyethylene* tidak terlalu baik. Terdapatnya celah (lingkaran merah pada gambar) menandakan bahwa lapisan *adhesive* tidak mengikat lapisan *polyethylene* dengan merata. Hal ini dapat disebabkan pada saat proses pelapisan, lapisan *adhesive* yang diaplikasikan dengan menggunakan metode kuas tidak merata. Selain itu kekuatan adhesi *polyethylene* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan lapisan *polypropylene* (Guidetti, 1995), juga dapat menjadi faktor buruknya ikatan antara lapisan *adhesive* dengan lapisan *polyethylene*. Hal tersebut sangat berkebalikan dengan gambar (b), dimana lapisan *adhesive* yang diaplikasikan, secara visual memiliki kekuatan ikatan yang baik dan merata, baik dengan lapisan epoksi maupun dengan lapisan *polypropylene*.



Gambar 4.11 Permukaan (a) *Polyethylene* dan (b) *Polypropylene*

Pada lapisan *top coat*, *polyethylene* secara visual tidak memiliki permukaan yang sepenuhnya rata, gambar (a). Faktor yang menyebabkan hal ini diantaranya adalah lebar *pellet polyethylene* yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan



pellet polypropylene. Besarnya *pellet* dapat mempengaruhi ikatan yang terbentuk pada saat proses peleburan, dimana ukuran *pellet* yang besar serta bentuknya yang tidak homogen akan meninggalkan celah-celah kecil. Selain itu faktor lainnya adalah tidak meratanya beban yang didistribusikan untuk menekan lapisan *polyethylene* pada saat proses pelapisan berlangsung. Sedangkan pada pelapis *polypropylene* pada gambar (b) secara visual memiliki permukaan yang rata dan dapat berikatan dengan baik dengan lapisan *adhesive*. *Pellet polypropylene* yang kecil serta kekuatan adhesinya yang baik menjadi faktor yang menyebabkan permukaan lapisan tersebut dapat terbentuk dengan merata.



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa hasil pengujian, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian sembur kabut garam, pelapis *polyethylene*, *polypropylene* dan *epoxy* memiliki efektifitas terhadap ketahanan korosi yang baik, dimana ketiga lapisan tersebut mendapat *rating* 9. Pelapis *polypropylene* memiliki pelebaran goresan yang sedikit lebih baik jika dibandingkan dengan pelapis epoksi dan *polyethylene*, dimana rata-rata pelebaran goresan yang terjadi sebesar 0,1001 mm. Sedangkan rata-rata pelebaran goresan pada lapisan epoksi dan *polyethylene* berturut-turut sebesar 0,1327 mm dan 0,4003mm.
2. Berdasarkan hasil pengujian *pull-off test*, ketebalan dari pelapis mempengaruhi kekuatan adhesinya. Dimana semakin besar ketebalannya maka akan semakin berkurang nilai adhesinya. Nilai adhesi pada pelapis epoksi sebagai pelapis primer dengan ketebalan 150 μm , 200 μm dan 250 μm berturut-turut adalah 5,08 Mpa, 4,84 Mpa dan 4,08 Mpa. Sedangkan lapisan *top coat polyethylene* dan *polypropylene* memiliki rata-rata nilai pengujian berturut-turut sebesar 1,72 Mpa dan 1,96 Mpa. Tidak sesuai dengan hasil pengujian dengan literatur yang ada disebabkan kategori *failure* yang terjadi pada pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* adalah *cohesive* dan *glue failure*.
3. Berdasarkan hasil analisa visual, Permukaan substrat dari masing-masing sampel (3LPE & 3LPP) memiliki kekasaran permukaan yang baik sehingga dapat menghasilkan *mechanical interlocking* yang dapat meningkatkan kekuatan ikatan pada daerah *interface*.



Sedangkan ikatan yang terjadi antara lapisan kedua (*adhesive*) dengan *polypropylene* lebih baik jika dibandingkan dengan ikatan antara lapisan *adhesive* dengan lapisan *Polypropylene*. Hal ini disebabkan lebih baiknya sifat adhesi *polypropylene* dibanding *polyethylene*, sehingga dapat berikatan baik dengan lapisan perantara.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun saran-saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam menganalisa morfologi dari pelapis, sebaiknya tidak hanya pada bagian *cross-sectionalnya* saja, dikarenakan banyak informasi-informasi lainnya yang bisa didapatkan untuk mendukung pengujian-pengujian yang dilakukan.
2. Pada pengujian uji sembur kabut garam, waktu pengujian dapat lebih di variasikan dengan *range* waktu yang lebih lama. Selain itu interval waktu pengamatan, dapat lebih diperkecil (setiap 12 jam) sehingga hasil analisa yang diperoleh lebih dalam dan akurat.
3. Pada penelitian ini terdapat beberapa pengujian-pengujian cukup penting yang belum dilakukan dan sangat berkaitan erat dengan pengujian-pengujian yang telah dilakukan, diantaranya adalah pengujian untuk menganalisa mekanisme *undercutting* maupun *filliform corrosion* yang terbentuk dibawah lapisan.
4. Pada pengujian ketahanan panas, *range* temperatur dan waktu pemanasan dapat lebih ditingkatkan dan divariasikan, sehingga dapat diketahui temperatur maksimum (sebelum turunnya kekuatan adhesi) yang dapat di terima khususnya pada pelapis epoksi.



DAFTAR PUSTAKA

Arman, R. B. (2011). *Kekuatan Adhesi dan Ketahanan Korosi dari Temporary Organic Coating pada Pipa-Pipa API 5CT di Lingkungan Atmosfer Laut*. Jakarta: Universitas Indonesia.

Bahadori, A. (2015). *Essentials of Coating, Painting, and Lining for the Oil, Gas and Petrochemical Industries*. USA: Elsevier Inc.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2010). *Materials Science and Engineering an Introduction* (Eight Edition ed.). USA: John Willey & Son, Inc.

Carne, P. C. (2009). *Study of Compatibilization Methods for High Density Polyethylene and Ground Type Rubber*. Barcelona: Polytechnical University of Catalonia.

Drisko, R. (1998). *Corrosion and Coatings: An Introduction to Corrosion for Coatings Personnel*. Pittsburgh: Society for Protective Coatings.

Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineer*. Singapore: McGraw-Hill Book Compnay.

G.P. Guidetti, G. R. (1996). The Use of Polypropylene In Pipeline Coatings. *Progress In Organic Coatings*, 79-85.



Gonzalez, S. (2001). *Resistance to Corrosion of Galvanized Steel Covered with an Epoxy-Polyamide Primer Coating*. Spain: Elsevier Inc.

Groisman, A. (2010). *Corrosion for Everybody*. New York: Springer Science+Business Media B.V.

Guo, B. (2015). *Offshore Pipelines*. Louisiana: Elsevier Inc.

Havlik, J. A. (2007). *Electrochemical, Chemical and Barrier Action of Zinc Dust/Anticorrosive Pigments Containing Coatings*. Czech Republik: Elsevier Inc.

Jones, D. A. (2002). *Principles and Prevention of Corrosion*. Toronto: Maxwell Macmillan Canada.

Kaesche, H. (2003). *Corrosion of Metals*. New York: Springer Verlag Berlin Heidelberg.

Koleske, J. V. (Koleske, Joseph V. 1995. *Paint and Coating Testing Manual 15th Edition*. USA: Gardner-Sward). *Paint and Coating Testing Manual 15th Edition*. USA: Gardner-Sward.

Kurniawati, A. (2008). *Evaluasi Pelapisan Glass Flake Epoxy Pada Baja Karbon Dengan Perbedaan Preparasi Permukaan dan Rasio Pencampuran Antara Base dan Aktivator*. Jakarta: Universitas Indonesia.

Liu, H. (2005). *Pipeline Engineering*. Boca Raton: Lewis Publishers CRC Press Company.

Mittal, K. (1983). *Adhesion Aspects of Polymeric Coatings*. New York: Plenum Publishing Corporation.



Muhlbauer, W. K. (2004). *Pipeline Risk Management Manual Third Edition*. USA: Elsevier Inc.

Popov, B. N. (2015). *Corrosion Engineering Principles and Solved Problems*. South Carolina: Elsevier Inc.

Rafferty, K. (1989). *Geothermal District Piping – A Primer*. Oregon: Klamath Falls Geo-Heat Center.

Rigosi, G. (1999). *Anticorrosion Coatings With Polypropylene*. Dordrecht: Kluwer Publishers.

Rini Riastuti, S. K. (1996). *Studi Ketahanan Korosi dan Kekuatan Adhesi Cat Epoxy Terhadap Persiapan Permukaan dan Ketebalan Lapisan Pada Pipa Baja Karbon yang Dilapisi dengan Teknik In-Situ*. Jakarta: Universitas Indonesia.

Roberge, P. R. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. USA: McGraw-Hill Companies.

Shin-ichi Funatsu, Y. M. (1997). *Durability of Three Layer Polypropylene Coated Steel Pipe at Elevated Temperature*. Japan: Nippon Steel.

Utomo, B. (2009). *Jenis Korosi dan Penanggulangannya*. Semarang: Universitas Diponegoro.

Wicks, Z. W. (2007). *Organic Coatings: Science and Technology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Wypych, G. (2012). *Handbok of Polymers*. Toronto: ChemTec Publishing.



Standard

ASTM B 117. (2009). *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*. Pennsylvania: ASTM International.

ASTM D 1654. (2005). *Standard Test Method for Evaluation of Painted and Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*. Pennsylvania: ASTM International.

ASTM D 714. (2009). *Standard Test Method for Evaluation Degree of Blistering of Paints*. Pennsylvania: ASTM International.

ASTM D 4541. (2002). *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*. Pennsylvania: ASTM International.

NACE Standard RP0775. (2005). *Standard Recommended Practice: Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations*. Houston: NACE International.

SSPC-SP NO.10. (2000). *Joint Surface Preparation Standard: Near-White Blast Cleaning*. Pittsburgh: The Society for Protective Coatings.

LAMPIRAN A

HASIL PENGUJIAN SPECTROSCOPY



barata indonesia
PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : API 5L Grade B

Customer : ITS

Furnace : NA

Name of Equipment : NA

Heat No : NA

Order No : NA

Lab. No : 28102015/00

Material :

Spektroanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0076	0,0331	0,0027	0,0073
Ave	99,1	0,116	0,222	0,378	0,0289	0,0076	0,0331	0,0027	0,0073

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013
Ave	0,0023	0,0048	0,0092	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0182	< 0,0025	0,0013

	B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb
1	< 0,0003	0,0006	< 0,0015	0,0140	0,0028	0,0296	< 0,0030
Ave	< 0,0003	0,0006	< 0,0015	0,0140	0,0028	0,0296	< 0,0030

Town
Gresik

Date
28/10/2015

Tester
M.Vifti Susanto

QC. Manager
Beny Andika ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

barata indonesia
PT. (PERSERO)



[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

LAMPIRAN B

PREPARASI DAN APLIKASI COATING

1. Preparasi Spesimen

- ❖ Spesimen yang digunakan adalah Pipa API 5 L yang telah di Roll menjadi plat dan di potong menjadi ukuran 50x30x3 mm berjumlah 25 buah.

2. Pra-Persiapan Permukaan (*Abrasive Blasting*)

❖ *Blotter Test*

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah angin kompresor yang digunakan mengandung minyak ataupun air. Standar yang digunakan sesuai ASTM D4285 “*Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air*”. Prosedurnya dengan menyemprotkan angin kompresor ke suatu kain putih dengan jarak sedekat mungkin selama satu menit. Jika terdapat indikasi adanya minyak atau air, angin kompresor tidak dapat digunakan.

❖ *Vial Test*

Pengujian yang dilakukan untuk mengecek kebersihan dari abrasif yang digunakan. Prosedur pengujian sesuai ASTM D4940 “*Standard Test Method for Conductimetric Analysis of Water Soluble Ionic Contamination of Blasting Abrasives*”. Dengan mengaduk campuran partikel abrasif dengan air suling, dengan rasio perbandingan 1:2. Setelah pengadukan dilakukan, cek apakah terdapat kotoran, debu, ataupun *clay*.

3. Persiapan Permukaan

- ❖ Sebelum dilakukan pembersihan permukaan dengan *Abrasive Blasting* sebelumnya dilakukan pembersihan permukaan dengan *Solvent Cleaning* sesuai standar

SSPC-SP1 untuk menghilangkan *grease* atau *oil* karena tidak bisa dihilangkan dengan *blasting*.

- ❖ *Abrasive Blasting* dilakukan sesuai standar tingkat kebersihan SSPC-SP10 atau Sa2 ½ (ISO 8501-1:1988) “*Very thorough Blast Cleaning*”.

4. Pasca Persiapan Permukaan

- ❖ Pengamatan Visual

Pengamatan visual dilakukan untuk mengecek bahwa kebersihan permukaan sampel setelah *blasting* sesuai atau tidak dengan standar yang diinginkan, inspeksi visual dengan menggunakan standar ISO 8501 “*Visual Assessment of Surface Cleanliness*”

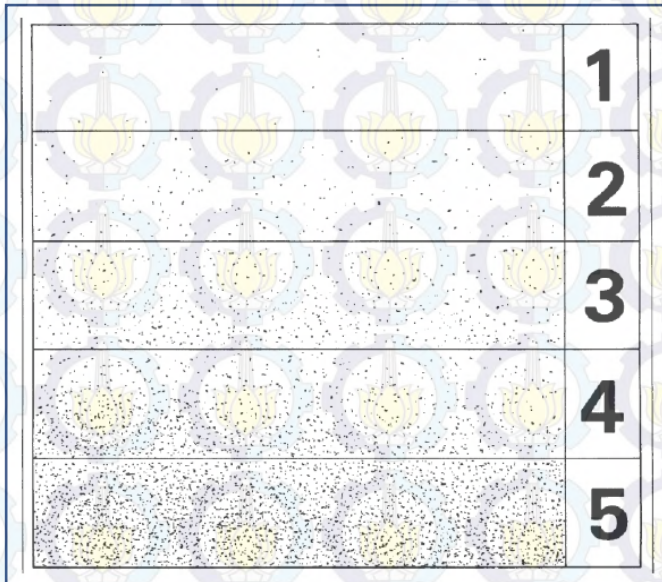
- ❖ Pengukuran Kekasaran Permukaan

Prosedur pengukuran kekasaran permukaan dilakukan sesuai NACE RP0287 “*Field Measurement of Surface Profile of Abrasive Blast-Cleaned Steel Surfaces Using a Replica Tape*”. Pengukuran kekasaran dilakukan dengan menggunakan sebuah *tape* yang ditempelkan pada permukaan. *Tape* kemudian ditekan dengan menggunakan suatu objek yang bundar hingga *tape* berubah warna menjadi abu-abu secara merata. Angkat *tape* dari permukaan dan ukur ketebalan *tape* menggunakan *anvil micrometer*. Nilai ketebalan yang didapatkan dari *anvil micrometer* dikurangi 50 µm karena itu merupakan ketebalan *foam plastic* yang menempel pada *tape*.

- ❖ Dust Level

Pengecekan jumlah debu pada permukaan mengacu pada ISO 8502-3 “*Preparation of Steel Substrate Before Application of Paints and related products - Tests for the Assessment of Surface Cleanliness*”. Pada standar ini terdapat gambar perbandingan jumlah debu yang terbagi menjadi lima tingkatan. Pengecekan dengan cara menempelkan

adhesive tape ke permukaan. Tape ditekan perlahan agar menempel dengan baik di permukaan. Tape dilepas dan ditempelkan pada benda dengan warna berbeda dari *adhesive tape*.



Gambar 1. Tingkatan Jumlah Debu (ISO 8502-3)

5. Pra-Aplikasi *Coating*

❖ Pengecekan kondisi lingkungan

Dilakukan sebelum aplikasi pelapisan permukaan. Temperatur tidak lebih tinggi dari 3°C dari *dew point* dan *relative humidity* tidak boleh lebih dari 85%. *Dew point* adalah temperatur dimana kelembaban mulai terbentuk pada permukaan baja. Sedangkan, *relative humidity* adalah rasio perbandingan antara jumlah porsen uap air dibandingkan dengan jumlah air yang jernih pada temperatur tertentu. Nilai dew point dan relative humidity akan didapatkan pada tabel dibawah.

Tabel 1. Perhitungan *Dew point* dan *Relative Humidity*

Chart for Calculation of Relative Humidity and Dew Point										
Dry-Bulb Temp. (°C)	Depression of Wet-Bulb Temperature (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	86/3	72/0	58/-	45/-						
6	86/4	73/1	60/-	47/-						
7	87/5	74/3	61/0	49/-						
8	87/6	75/4	63/1	51/-						
9	88/7	76/5	64/3	53/0	Reproduced by NACE with permission					
10	88/8	77/6	65/4	54/1	43/-					
11	88/9	77/7	66/5	56/3	46/-	36/-				
12	89/10	78/8	68/6	57/4	48/1	37/-				
13	89/11	79/9	69/7	59/5	49/3	39/0				
14	90/12	79/10	70/8	60/6	51/4	41/1	32/-			
15	90/13	80/12	71/10	62/8	52/5	43/4	35/0			
16	90/14	81/13	71/11	62/9	54/7	46/4	38/2			
17	90/15	81/14	72/12	64/10	55/8	47/6	39/3	32/0		
18	91/16	82/15	73/13	65/11	56/9	49/7	41/5	34/2		
19	91/17	82/16	74/14	65/12	58/10	50/8	43/5	36/3	28/0	
20	91/18	83/17	74/15	66/13	59/12	51/10	44/7	37/5	30/1	
21	91/19	83/18	75/16	67/15	60/13	52/11	46/9	39/6	32/4	
22	92/21	83/19	76/17	68/16	61/14	54/12	47/10	40/8	33/6	
23	92/22	84/20	76/19	69/17	62/15	55/13	49/11	42/9	36/7	
24	92/23	84/21	77/20	69/18	62/16	56/15	49/13	43/11	37/10	
25	92/24	84/22	77/21	70/19	63/17	57/16	50/14	44/12	38/10	33/8
26	92/25	85/23	78/22	71/20	64/18	58/17	51/15	46/13	40/11	34/9
27	92/26	85/24	78/23	71/21	65/20	59/18	52/16	47/15	41/13	36/11
28	93/27	85/25	79/24	72/22	65/21	59/19	53/18	48/16	42/14	37/12
29	93/28	86/26	79/25	72/23	66/22	60/20	55/19	49/17	43/15	38/13
30	93/29	86/27	79/26	73/25	67/23	61/22	56/20	50/18	44/17	39/15
31	93/30	86/28	80/27	73/26	67/24	62/23	57/21	51/20	44/18	41/16
32	93/31	86/29	80/28	74/27	68/25	62/24	57/22	52/21	46/19	42/17
33	93/32	87/30	80/29	74/28	69/26	63/25	58/23	52/22	47/20	43/19
34	93/33	87/31	81/30	75/29	69/27	64/26	59/25	53/23	48/21	44/20
35	93/34	87/32	81/31	75/30	70/30	65/28	60/27	55/24	50/23	45/21
36	94/35	87/33	81/32	76/31	70/30	65/28	60/27	55/25	51/24	46/22
37	94/36	87/35	82/33	76/32	70/31	65/29	60/28	55/27	51/25	46/23
38	94/37	88/36	82/34	76/33	71/32	66/30	61/29	56/28	51/26	47/25
39	94/38	88/37	82/35	77/34	71/33	66/31	61/30	57/29	52/27	48/26
40	94/39	88/38	82/36	77/35	72/34	67/33	62/31	57/30	53/28	48/27

Note: For any pair of figures, the first is relative humidity (%) and the second is dew point temperature (°C).

Sebelum menggunakan tabel diatas, pertama harus mengukur *dry-bulb temperature* dan *wet-bulb temperature* dengan menggunakan *sling psychrometer*. Penggunaannya sesuai ASTM E337 "*Standard Test Methode for Measuring humidity with a Psycrometer (the Measurement of Wet and Dry-Bulb Temperatures*". *Dry-bulb temperature* sendiri menunjukkan temperatur udara sesungguhnya sedangkan *wet-bulb temperature* menunjukkan temperatur yang lebih rendah dari temperatur udara sebenarnya karena kehilangan kalor laten. Pengukuran kedua temperatur tersebut dilakukan dengan cara memutar *sling psychrometer* selama 40 detik secara cepat dimana sebelumnya membasahi thermometer *wet-bulb temperature* dengan air terlebih dahulu. Lakukan pembacaan di *sling psychrometer* dan ulangi putaran hingga temperatur stabil.

Dari tabel dapat dilihat bahwa untuk mendapatkan nilai *dew point* dan *relative humidity* harus menghubungkan nilai *dry-bulb temperature* dan *depression of wet-bulb temperature*, dimana nilai *depression of wet-bulb temperature* adalah hasil pengurangan dari *dry-bulb temperature* dan *wet-bulb temperature*.

❖ Pengecekan temperatur sampel

Pengukuran menggunakan *magnetic surface contact thermometer*. Dilakukan dengan menempelkan termometer ke permukaan sampel, dengan termometer bersifat magnetik. Pembacaan temperatur dilakukan sekitar 2-3 menit setelah penempelan termometer ke permukaan sampel, saat termometer telah stabil.

6. **Aplikasi Coating Epoxy**

Mixing ratio (volume) untuk jenis cat yang digunakan adalah 4:1, 4 bagian Penguard Primer komponen A

dicampurkan dengan 1 bagian penguard komponen B. Jumlah sampel yang dilakukan aplikasi pelapisan permukaan ada 25 buah dengan rincian :

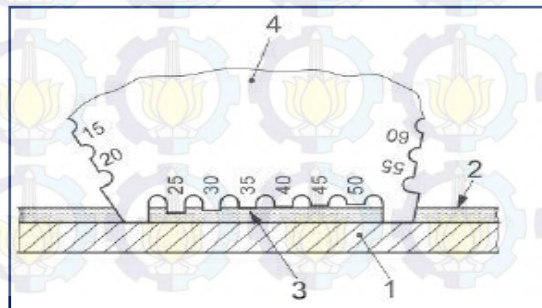
❖ 25 buah sampel dilakukan *full coat* seluruhnya dilapisi dengan lapisan cat *epoxy*, rincian :

- 6 buah sampel dengan DFT 150 mikron;
3 buah sampel uji salt spray + 3 buah sampel uji kekuatan adhesi
- 13 buah sampel dengan DFT 200 mikron;
6 buah sampel uji salt spray + 3 buah sampel uji kekuatan adhesi + 2 buah sampel uji ketahanan panas + 2 buah sampel analisa morfologi
- 6 buah sampel dengan DFT 250 mikron;
3 buah sampel uji salt spray + 3 buah sampel uji kekuatan adhesi

7. Pasca Aplikasi Coating

❖ Pengukuran WFT (*Wet Film Thickness*)

Pengukuran ketebalan basah dilakukan setelah aplikasi pengecatan dimana cat masih basah, mengacu pada ISO 2808 “*Paints and Varnishes-Determination of Film Thickness*”. Pengukuran dilakukan dengan *comb gauge*, dimana nilai ketebalan basah adalah bagian *comb gauge* yang terkena cat.



Gambar 2. Aplikasi *Comb Gauge*

Keterangan :

1. Permukaan Sampel
2. Lapisan Cat
3. Titik kontak basah (*Wetting contact*)
4. *Comb Gauge*

❖ Pengukuran DFT (*Dry Film Thickness*)

Pengukuran ketebalan kering menggunakan *electronic gauge* sesuai standar SSPC-PA 2 “*Procedure for Determining Conformance to Dry Coating Thickness Requirements*”. Sebelumnya dilakukan kalibrasi pada *electronic gauge*, kemudian tempelkan *electronic gauge* pada lapisan cat yang sudah kering. Nilai ketebalan cat akan muncul pada *electronic gauge*. Pengukuran dilakukan pada 5 titik yang berbeda, dimana setiap titik dilakukan tiga kali pembacaan, nilai ketebalan yang didapatkan kemudian dirata-rata.

❖ Holiday Test

Dilakukan untuk mengetahui adanya cacat atau diskontinuitas pada lapisan seperti *pinhole*, *fisheye*, *cratering*, dan *nick*. Mengacu pada standar NACE RP 0188 “*Discontinuity (holiday) testing of new protective coating on conductive substrate*” terdapat dua macam yaitu *Low* dan *High Voltage Holiday*, dan yang digunakan adalah *Low Voltage Holiday*, karena ketebalan lapisan kurang dari 500 μm . Uji dilakukan ketika cat telah melalui setengah proses *curing*, agar saat terdapat diskontinuitas lapisan dapat langsung diperbaiki.

❖ Adhesion Test

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan ikatan adhesi lapisan cat. Metode yang digunakan adalah *pull-off test* dengan standar ASTM D4541 “*Standard Test Method for Pull-Off Strength of*

Coatings Using Portables Adhesion Testers".

Pengujian dilakukan dengan cara menempelkan sebuah beban tetap yang tegak lurus terhadap lapisan permukaan yang biasa disebut dengan *dolly*. Sebelum pengujian, dipastikan bahwa lapisan bersih dari kontaminan dan dilakukan pengamplasan di daerah yang akan ditempel dengan *dolly*. *Dolly* ditempel dengan menggunakan campuran adhesif yaitu dua komponen epoksi, setelah ditempel, pengujian tidak langsung dilakukan tetapi menunggu hingga campuran adhesif mengalami *curing* seluruhnya. Pengujian dilakukan setelah 48 jam dari penempelan *dolly*. Nilai yang didapatkan dalam satuan Mpa

8. Kebutuhan dan Kondisi dalam Aplikasi Coating

- a. Surface Preparation Required : Dry Abrasive blasting
- b. Degree of Blasting : Sa $2\frac{1}{2}$
- c. Relative Humidity : 83%
- d. Dew Point : 28°C
- e. Steel Temperatur : 32°C
- f. Abrasive type : Aluminium Oxide
- g. Mesh : 24 mesh
- h. Dust Level : Level 3
- i. Jenis Cat : Epoksi PenguardPrimer

LAMPIRAN B PERHITUNGAN

1. Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

Diketahui :

Massa Pelarut : 1000 mL

Ditanya : Massa NaCl yang dilarutkan ?

Jawab :

$$\rho_{campuran} = \rho_{air} + \rho_{NaCl}$$

$$= (0.965 \text{ g/mL} \times 96.5\%) + (2.165 \text{ g/mL} \times 3.5\%)$$

$$\rho = 1.007 \text{ g/mL}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 1.007 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL}$$

$$m = 1007 \text{ gram}$$

Maka massa NaCl yang dilarutkan adalah

$$\frac{3.5}{100} \times 1007 \text{ gr} = 35.24 \text{ gram}$$

2. Perhitungan Kebutuhan Ketebalan Film Basah-Wet Film Thickness (WFT)

Diketahui :

Percent Solids by Volume : 51%

Percent Added thinner : 10%

Dry Film Thickness : 150, 200, dan 250 μm

Ditanya :

Kebutuhan Wet Film Thickness untuk masing-masing Dry Film Thickness ?

Jawab :

a. Dry Film Thickness 150 μm

$$WFT = \frac{DFT \times (100 + \text{percent added thinner})}{\text{Percent Solids by Volume}}$$

$$WFT = \frac{150 \times (100 + 10)}{51}$$

$$WFT = \frac{16500}{51}$$

$$WFT = 323,53 \mu\text{m}$$

b. Dry Film Thickness 200 μm

$$WFT = \frac{DFT \times (100 + \text{percent added thinner})}{\text{Percent Solids by Volume}}$$

$$WFT = \frac{200 \times (100 + 10)}{51}$$

$$WFT = \frac{22000}{51}$$

$$WFT = 431,37$$

c. Dry Film Thickness 250 μm

$$WFT = \frac{DFT \times (100 + \text{percent added thinner})}{\text{Percent Solids by Volume}}$$

$$WFT = \frac{250 \times (100 + 10)}{51}$$

$$WFT = \frac{27500}{51}$$

$$WFT = 539,22$$

Jadi Nilai Wet Film Thickness untuk Dry Film Thickness 150 μm adalah 323,53 μm , 200 μm adalah μm 431,37 μm , dan untuk 250 μm 539,22 μm



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Yosafat Sondang Marcellinus Siahaan dan dilahirkan di kota Jakarta pada tanggal 2 Februari 1994. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu dari TK Marsudirini Bekasi, SD Nasional KPS Balikpapan, SMP Nasional KPS Balikpapan dan Sekolah Menengah Atas Nasional 1 Balikpapan. Penulis lulus dari jenjang pendidikan menengah atas pada tahun 2012 dan melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa kegiatan kampus, diantaranya pada tahun kedua dan ketiga penulis aktif berkecimpung di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS, kemudian mengikuti serangkaian kegiatan kedaerahan melalui organisasi Mahasiswa Bona Pasogit (MBP) dan kegiatan olahraga futsal baik di tingkat jurusan, fakultas maupun Institut. Penulis juga pernah mengikuti perlombaan Metaloscope pada tahun 2015 yang diselenggarakan oleh PM3I dan mendapatkan juara 3. Selain itu penulis juga pernah melaksanakan program kerja praktek di PT. Total E&P Indonesia Balikpapan selama 2 bulan. Topik dan wawasan yang didapat melalui kerja praktek tersebut diantaranya adalah mengenai manajemen resiko berbasis RBI serta pengendalian korosi dan analisa kegagalan. Pada tugas akhir ini korosi dan analisa kegagalan merupakan bidang yang penulis ambil untuk meraih gelar sarjana Teknik.



[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]